

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



## Auditoria Energética a um Edifício de Indústria

João Ricardo Madeira Fernandes

**Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente**

**2014**

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



# Auditoria Energética a um Edifício de Indústria

João Ricardo Madeira Fernandes

**Dissertação de Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente**

Trabalho realizado sob a supervisão de

Eng.ª Filipa Menezes, CEO Blastingfm

Prof. Dr. Jorge Maia Alves, FCUL

**2014**

## Resumo

O consumo intensivo de energia é neste momento uma das grandes preocupações mundiais. A eficiência energética tem um papel bastante importante não só na sua redução como no desenvolvimento económico dos diferentes sectores de atividade. O sector da indústria é responsável, atualmente, por uma grande fatia do consumo final de energia, sendo por isso responsável por uma grande parte das emissões de gases com efeito de estufa (GEE) para a atmosfera.

Tem existido, por parte do governo português, uma enorme evolução legislativa relativamente ao aumento da eficiência energética nos edifícios, tendo sido criados alguns planos nacionais de promoção de eficiência energética e da utilização de energias renováveis para produção e uso de energia. O presente trabalho passa pelo estudo de algumas dessas políticas energéticas como introdução à auditoria energética realizada a uma empresa do sector da indústria, a Provida.

A auditoria revelou um enorme potencial de poupança energética, nomeadamente de energia elétrica. Foi imediatamente aplicada uma medida de racionalização de consumo de energia (MRCE), considerada prioritária, ao sistema de iluminação da empresa que foi avaliada com uma poupança que rondará os 48%, e com um tempo de retorno do investimento inicial inferior a dois anos. Para além da MRCE implementada são propostas outras medidas de gestão de consumo de energia.

É apresentado neste documento o estudo realizado para a instalação de um sistema solar fotovoltaico que, com um período de retorno estimado em cerca de oito anos, se prevê que permita uma poupança de cerca de 24% no consumo de energia elétrica, face ao consumo previsto antes da intervenção na empresa. É ainda apresentado um estudo das necessidades de climatização da fração de escritórios do edifício e de substituição do sistema de climatização existente, que se revelou ineficiente durante a visita técnica feita à empresa.

**Palavras-chave:** eficiência energética, auditoria energética, poupança.

## **Abstract**

Intensive energy consumption is nowadays one of the biggest global concerns. Energy efficiency has an important role not only in its reduction but also in the different sectorial activities economic development. Industry sector by itself is responsible for the main part of the energy consumption, being responsible for most of the greenhouse effect gases (GEG) emissions to atmosphere.

There has been, by the Portuguese government, a huge legislative development in order to promote the energy efficiency in buildings, and some national programs to promote energy efficiency and use of renewable energy production have been established. The present work starts by reviewing some of these energy policies to introduce the energy audit made to an industry sector company, Provida.

The audit revealed a huge potential for energy savings, particularly electric energy. It was immediately applied an energy consumption rationalization measure (ECRM), considered as a priority, to the lighting system of the company which has been evaluated with a savings account that could be around 48%, and a payback time of less than two years. In addition to the implemented ECRM there were proposed some other management of power consumption measures.

It's shown in this document the study for the installation of a photovoltaic solar system with an estimated return period of about eight years, which is expected to allow a saving of about 24% in electricity consumption, compared to the predicted consumption presented in this paper before the intervention in the company. It's also presented a study of the needs of climate control in the office fraction of the building and also for replacement of the existing climate control system, which proved to be inefficient during the field visit made to the enterprise

**Keywords:** energy efficiency, energy audit, savings.

## Agradecimentos

Antes de mais nada gostaria de agradecer à Eng.<sup>a</sup> Filipa Menezes, pelo seu profissionalismo, e acima de tudo por toda a ajuda prestada ao longo do desenvolvimento deste trabalho e ainda pela oportunidade que me foi dada, que julgo ter fortalecido bastante a minha capacidade de trabalho e de integração na realidade empresarial. Aproveito para agradecer ainda por toda a sua disponibilidade, transmissão de conhecimento e partilha de informação. Gostaria de agradecer da mesma forma ao restante pessoal da empresa Blastingfm, nomeadamente ao Eng.º Ricardo Carapeto, por toda a sua simpatia e disponibilidade.

Da mesma forma gostaria de agradecer ao Prof. Dr. Jorge Maia Alves que, apesar da sua enorme carga horária, permitiu que este trabalho se realizasse. Agradeço por toda a ajuda prestada, essencialmente no encaminhamento inicial do trabalho.

À minha família, por toda a paciência e por todos os valores que me transmitiram e que me permitiram tornar a pessoa que sou hoje e que certamente influenciaram a natureza deste trabalho.

À Sofia, por todo o apoio e inspiração dados, e sobretudo, por ter respeitado e dado bastante valor a todas as horas que foram por mim dedicadas a este trabalho.

Ainda a todos os meus amigos, por todo o apoio prestado nos momentos de maior trabalho e por toda a sua compreensão. Deixo-vos a todos um grande Obrigado.



## Conteúdo

LISTA DE FIGURAS .....	XI
LISTA DE TABELAS .....	XIII
ACRÓNIMOS.....	XV
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. ENQUADRAMENTO .....	1
1.2. OBJETIVOS E ÂMBITO .....	3
1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....	3
2. METAS, PRAZOS E LEGISLAÇÃO ENERGÉTICA .....	5
2.1. POLÍTICA ENERGÉTICA E CONCLUSÕES DO CONSELHO EUROPEU.....	5
2.1.1. Política Energética para a Europa, PEE .....	6
2.2. QUADRO DAS METAS EUROPEIAS «20-20-20» .....	7
2.3. ESTRATÉGIA NACIONAL, PNAEE 2016 E PNAER 2020.....	7
2.3.1. PNAEE 2016.....	8
2.3.2. PNAER 2020.....	11
2.4. RELATÓRIO ANUAL DE OBJETIVOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....	13
2.4.1. Até ao ano 2016.....	13
2.4.2. Até ao ano 2020.....	14
2.5. NORMA EN ISO 50001 .....	14
2.5.1. Requisitos gerais da Norma.....	15
2.5.2. Planeamento energético.....	16
2.5.3. Verificação .....	17
2.5.4. Objetivo .....	17
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	19
3.1. EFICIÊNCIA E EFICÁCIA ENERGÉTICA .....	19
3.2. TECNOLOGIA LED.....	19
3.2.1. Principais características e métodos produção .....	20
3.2.2. Desvantagens da tecnologia .....	21
3.2.3. Vantagens da tecnologia.....	22
3.2.4. Eficácia de aplicação e conclusões.....	22
3.3. SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS.....	23
3.3.1. Funcionamento adequado do sistema PV.....	24
3.3.2. Principais componentes de um sistema On-grid .....	24
3.3.3. Principais considerações no dimensionamento PV .....	25
3.3.4. Horas Pico Solares e Watt Pico.....	26
3.4. SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO .....	27
3.4.1. Dimensionamento do Sistema de Climatização .....	27
3.4.2. Condições de Aquecimento e Arrefecimento.....	28
3.4.3. Escolha do Sistema AVAC .....	28
3.5. PROGRAMAS DE EFEITO COMPORTAMENTAL .....	29
3.5.1. Recomendações para a Criação de Programas .....	30
3.5.2. Grupo Alvo do Programa .....	30
4. PLANEAMENTO ENERGÉTICO, PROVIDA .....	31
4.1. ANÁLISE PRÉVIA À INSTALAÇÃO .....	31
4.2. AVALIAÇÃO PRELIMINAR.....	32
4.2.1. Planeamento Inicial .....	32
4.2.2. Plano de Ação.....	33
4.2.3. Sustentabilidade Ambiental.....	35
4.3. RESULTADOS DA INTERVENÇÃO .....	36
4.3.1. Medição com Lâmpadas Fluorescentes.....	36
4.3.2. Medição com Lâmpadas LED.....	37
4.4. METODOLOGIAS DE CÁLCULO DO CONSUMO ANUAL .....	38

4.5.	METODOLOGIA I, LEITURA DE 2013.....	39
4.5.1.	Erro Mínimo Associado à Extrapolação, Leitura de 2013 .....	40
4.6.	METODOLOGIA II, SISTEMA DE ILUMINAÇÃO E PÓS-2014 .....	41
4.6.1.	Análise e Previsão do Consumo da Iluminação, 2013 .....	42
4.6.2.	Previsão do Consumo pós-2014.....	43
4.6.3.	Previsão do Consumo do Ano de 2014 .....	43
4.6.4.	Comparação dos Consumos de 2013 e Pós-2014.....	43
4.7.	METODOLOGIA III, LEITURA DE 2014.....	44
4.7.1.	Análise da Contagem .....	44
4.7.2.	Erro Mínimo Associado à Extrapolação, Leitura de 2014 .....	46
4.8.	ERRO GLOBAL DA PREVISÃO DO CONSUMO ANUAL .....	46
5.	ESTUDO COMPLEMENTAR .....	49
5.1.	ESTUDO DE INSTALAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA .....	49
5.1.1.	Características do Local da Instalação. ....	50
5.1.2.	Cálculo da Potência Pico do sistema.....	52
5.1.3.	Componentes Físicas do Sistema .....	52
5.1.4.	Sistema PV On-Grid.....	53
5.1.5.	Mini e Microprodução.....	54
5.1.6.	Autoconsumo .....	56
5.2.	ESTUDO DE CLIMATIZAÇÃO DO EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS .....	56
5.2.1.	Necessidades de Aquecimento e Arrefecimento Sensíveis .....	57
5.2.2.	Temperatura e Humidade Relativa.....	58
5.2.3.	Perda de Calor para a Envolvente .....	60
5.2.4.	Ganhos Internos Sensíveis .....	64
5.2.5.	Ganhos de Ventilação.....	66
5.2.6.	Ganhos Solares.....	66
5.2.7.	Necessidades de Climatização Totais.....	68
5.2.8.	Sistema de Climatização .....	71
5.3.	OUTRAS MRCE .....	73
5.3.1.	Armazém .....	74
5.3.2.	Escritórios e Receção .....	75
5.3.3.	Criação de um Programa Comportamental .....	76
5.3.4.	Implementação das Medidas .....	77
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	79
6.1.	QUANTIFICAÇÃO DA POUPANÇA MONETÁRIA .....	79
6.2.	PERÍODO DE RETORNO SIMPLES DO INVESTIMENTO.....	80
6.3.	INSTALAÇÃO DE ILUMINAÇÃO EFICIENTE.....	80
6.3.1.	Poupança Económica Prevista.....	80
6.3.2.	Conclusões do Estudo de Iluminação.....	81
6.4.	ESTUDO DE INSTALAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA .....	81
6.4.1.	Poupança Energética Anual Esperada.....	81
6.4.2.	Custo do Sistema.....	82
6.4.3.	Retorno Monetário Anual e a Quinze Anos .....	83
6.4.4.	Período de Retorno Simples do Investimento .....	84
6.4.5.	Conclusões do Estudo PV .....	84
6.5.	CLIMATIZAÇÃO DO EDIFÍCIO.....	85
6.5.1.	Custo do Sistema.....	85
6.5.2.	Custo de Operação & Manutenção.....	85
6.5.3.	Poupança Anual.....	87
6.5.4.	Conclusões do Estudo de Climatização.....	87
6.6.	MEDIDAS ADICIONAIS .....	88
6.6.1.	Armazém, Escritórios e Receção.....	88
6.6.2.	Programa comportamental .....	90
6.6.3.	Conclusão do Estudo de Medidas Adicionais .....	90
7.	CONCLUSÕES.....	93



8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	97
ANEXO I .....	101
ANEXO II .....	103
ANEXO III .....	105
ANEXO IV .....	109
ANEXO V .....	111



## Lista de Figuras

Fig. 1.1 - Consumo de energia final por sector, Portugal 2011. (QREN, 2013) .....	1
Fig. 1.2 - Consumo de eletricidade em Portugal, 2011. (Fonte: REN) (ERSE, 2012) .....	2
Fig. 1.3 - Consumo de energia elétrica por sector, 2011. (INE, 2007).....	2
Fig. 2.1 - Evolução de Potência FER Instalada em Portugal. (Fonte: PNAER).....	11
Fig. 2.2 - Evolução da Produção de Energia Elétrica FER em Portugal. (Fonte: PNAER) .....	12
Fig. 2.3 - Evolução estimada da capacidade instalada FER. (Fonte: PNAER) .....	12
Fig. 2.4 - Evolução estimada da produção de eletricidade FER. (Fonte: PNAER).....	13
Fig. 2.5 - Representação conceptual do desempenho energético. (Fonte: ISO 50001) .....	15
Fig. 2.6 - Diagrama do processo de planeamento energético. (Fonte: ISO 50001).....	16
Fig. 3.1 - Métodos de produção de luz branca. (Bessho & Shimizu, 2012).....	20
Fig. 3.2 - Distribuição espectral de um LED branco. (Chang, Das, Varde, & Michael, 2011)...	21
Fig. 3.3 - Lumens em função das horas de funcionamento. (Bessho & Shimizu, 2012) .....	22
Fig. 3.4 - Ilustração de Eficácia da Aplicação. (U.S. Department of Energy, 2009) .....	23
Fig. 4.1 - Instalações da Provida. (Fonte: <i>Google Maps</i> ).....	31
Fig. 4.2 - Zona principal do armazém. ....	36
Fig. 4.3 - Corrente, em Ampere, utilizada no arranque do sistema de iluminação. ....	37
Fig. 4.4 - Corrente, em Ampere, necessária ao longo da utilização. ....	37
Fig. 4.5 - Corrente, em Ampere, utilizada ao longo da utilização após as alterações. ....	38
Fig. 4.6 - Consumo de energia elétrica total e para iluminação, 90 dias.....	43
Fig. 4.7 - Consumo de energia elétrica anual do edifício.....	44
Fig. 4.8 - Consumo de energia elétrica total no edifício, ano.....	45
Fig. 4.9 - Comparação das previsões de consumo. ....	46
Fig. 5.1 - Irradiância local, em kWh/m <sup>2</sup> , inclinação igual à latitude (PVGIS, 2014).....	51
Fig. 5.2 - Irradiância local, em kWh/m <sup>2</sup> , inclinação ótima (PVGIS, 2014). ....	52
Fig. 5.3 - Irradiância Global/m <sup>2</sup> , inclinação de 49° (PVGIS, 2014). ....	53
Fig. 5.4 - Representação de um sistema On-Grid de venda à rede.....	55
Fig. 5.5 - Gráfico psicométrico, condições de arrefecimento. (PsychotTool).....	59
Fig. 5.6 - Corte lateral da parede e sentido do fluxo de calor horizontal. ....	62



## Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Impacto do setor da Industria. (Fonte: PNAEE) .....	9
Tabela 2.2 - Medidas Transversais Propostas, Ip1m1. (Fonte: PNAEE) .....	9
Tabela 2.3 - Medidas Específicas ou Sectoriais, Ip1m2. (Fonte: PNAEE) .....	10
Tabela 4.1 - Número e tipo de lâmpadas constituintes do sistema.....	33
Tabela 4.2 - Potência e estimativa de custo de utilização. ....	34
Tabela 4.3 - Estimativa do custo de utilização total e da poupança anuais.....	34
Tabela 4.4 - Anos de vida, espectáveis, do equipamento.....	34
Tabela 4.5 - Redução da potência instalada, esperada. ....	35
Tabela 4.6 - Quadro geral de metodologias. ....	39
Tabela 4.7 - Consumo elétrico em unidades de Energia, 90 dias.....	39
Tabela 4.8 - Consumo de energia elétrica no edifício, em MWh.....	40
Tabela 4.9 - Energia fornecida em Portugal. (Fonte: EDP) .....	40
Tabela 4.10 - Ponderação da leitura da EDP face ao consumo anual de energia.....	41
Tabela 4.11 - Potência teórica instalada para iluminação, pré-alterações.....	42
Tabela 4.12 - Previsão do consumo de energia pré-alterações, para 90 dias. ....	42
Tabela 4.13 - Potência teórica instalada para iluminação, pós-alterações. ....	43
Tabela 4.14 - Previsão de consumo de energia pós-alterações, para 90 dias. ....	43
Tabela 4.15 - Tabela de consumos anuais de energia esperados, após as alterações. ....	44
Tabela 4.16 - Registo inicial da leitura do contador da empresa.....	45
Tabela 4.17 - Registo final da leitura do contador da empresa. ....	45
Tabela 4.18 - Previsão de consumo de energia elétrica semanal, mensal e anual.....	45
Tabela 4.19 - Erro associado à leitura de Junho de 2014. ....	46
Tabela 5.1 - Geração solar para a inclinação ótima. (PVGIS, 2014) .....	50
Tabela 5.2 - Calculo das horas solares pico. ....	52
Tabela 5.3 - Programação das sessões de registo de sistemas. (DGEG, 2013) .....	54
Tabela 5.4 – Períodos de tarifa bonificada, 2014. (DGEG, 2013) .....	55
Tabela 5.5 - $T_{atm}$ para 99,6 e 99%, aquecimento (EnergyPlus, 2014). ....	58
Tabela 5.6 - Temperatura e Entalpia 0,4%, arrefecimento. (EnergyPlus, 2014).....	59
Tabela 5.7 - Temperatura e HR consideradas no dimensionamento de climatização. ....	59
Tabela 5.8 - Temperatura do ar do espaço não aquecido. ....	60
Tabela 5.9 - Resistência térmica dos materiais. ....	62
Tabela 5.10 - Coeficiente de condutividade térmica, U, das paredes do edifício. ....	62
Tabela 5.11 - Área útil das paredes, chão, cobertura e janelas do escritório.....	63
Tabela 5.12 - Perda para a envolvente, $Q_t$ , em Watt. ....	63
Tabela 5.13 - Ganhos internos sensíveis do material eletrónico sem ocupantes.....	64
Tabela 5.14 - Ganhos internos de calor sensível na estação de aquecimento. ....	65
Tabela 5.15 - Ganhos internos sensíveis do material eletrónico com ocupantes. ....	65
Tabela 5.16 - Ganhos internos sensíveis da iluminação.....	65
Tabela 5.17 - Ganhos internos de calor sensível na estação de arrefecimento.....	65
Tabela 5.18 - Ganhos de ventilação, $Q_v$ , em Watt.....	66
Tabela 5.19 - Intensidade média da radiação, estação de arrefecimento.....	67
Tabela 5.20 - Variáveis utilizadas para o cálculo de $Q_s$ , em Watt. ....	68
Tabela 5.21 - Ganhos solares, $Q_s$ , em Watt, estação de arrefecimento. ....	68
Tabela 5.22 - Necessidades totais de climatização sensível.....	68

Tabela 5.23 - Caudal volúmico de entrada e saída de ar.....	69
Tabela 5.24 - Caudal mássico de remoção de ar. ....	69
Tabela 5.25 - Humidade absoluta interior e exterior, g/kg.....	70
Tabela 5.26 - Conversão da humidade absoluta de g/kg para kg/kg.....	70
Tabela 5.27 - Necessidades de climatização latente, estação de arrefecimento.....	70
Tabela 5.28 - Necessidades de climatização totais, $N_c$ .....	70
Tabela 5.29 - Necessidades de climatização por área útil da fração autónoma.....	70
Tabela 5.30 - Necessidades totais de climatização ( $kW_e$ ) dos gabinetes. ....	71
Tabela 5.31 - Área e necessidades de climatização de cada gabinete. ....	71
Tabela 5.32 - Unidades interiores e exteriores do sistema. ....	72
Tabela 5.33 - Consumo de potência elétrica por unidade exterior.....	73
Tabela 5.34 - Potência de saída média (uni. interior) por unidade exterior. ....	73
Tabela 6.1 - Horário de faturação em vazio (ERSE, 2012).....	79
Tabela 6.2 - Tarifa de poupança média em período laboral. (Fonte: EDP).....	79
Tabela 6.3 - Custo de utilização e poupança anual prevista.....	80
Tabela 6.4 - Produção energética anual do sistema PV. ....	82
Tabela 6.5 - Preço unitário das componentes do sistema PV.....	82
Tabela 6.6 - Sumarização das unidades de cada componente dos sistemas PV.....	82
Tabela 6.7 - Previsão de custos de material e instalação.....	83
Tabela 6.8 - Previsão do custo total do sistema PV. ....	83
Tabela 6.9 - Retorno anual e quinzenal esperado.....	83
Tabela 6.10 - Tarifa média aplicada ao sistema de tarifa bonificada. ....	83
Tabela 6.11 - Payback esperado do investimento .....	84
Tabela 6.12 - Custo total do sistema de climatização. ....	85
Tabela 6.13 - Necessidades de aquecimento e arrefecimento anuais.....	86
Tabela 6.14 - Consumo de energia elétrica anual em condições limite. ....	86
Tabela 6.15 - Custo de operação anual em condições limite. ....	86
Tabela 6.16 - Transmissividade térmica do vidro duplo. (Chadderton, 2004).....	88
Tabela 6.17 - Resistência térmica do isolamento exterior.....	89
Tabela 6.18 - Coeficiente de transmissividade térmica do isolamento exterior.....	89
Tabela 6.19 - Perda para a envolvente com as alterações. ....	89
Tabela 6.20 - Ganhos solares internos com proteção exterior.....	89
Tabela 6.21 - Necessidades de climatização totais antes e após as alterações.....	90
Tabela 6.22 - Necessidades de climatização sem e com as alterações.....	90

## Acrónimos

AC	Corrente Alternada
APESF	Associação Portuguesa das Empresas do Sector Fotovoltaico
AQS	Águas Quentes Sanitárias
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado
BTN	Baixa Tensão Nominal
COP	Coefficient of Performance
DC	Corrente Direta
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
EDP	Energias de Portugal
EER	Energy Efficiency Ratio
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
UE	União Europeia
FER	Fonte de Energia Renovável
GEE	Gases com Efeito de Estufa
HID	High Intensity Discharge
IDE	Indicadores de Desempenho Energético
IEA	International Energy Agency
INE	Instituto Nacional de Estatística
LED	Light Emitting Diode
MPP	Ponto Máximo de Potência
MRCE	Medida de Racionalização de Consumo de Energia
PDCA	Plan-Do-Check-Act
PEE	Política Energética para a Europa
PNAEE	Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
PNAER	Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis
PR	Performance Ratio
PSH	Horas Solares Pico
PV	Fotovoltaico
PVGIS	Phovoltaic Geographical Information System
QREN	Quadro de Referência Estratégica Nacional
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
REN	Redes Energéticas Nacionais
RESP	Rede Elétrica de Serviço Público

SCE	Sistema de Certificação de Edifícios
SGCIE	Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia
SGE	Sistema de Gestão de Energia



# 1. Introdução

## 1.1. Enquadramento

Os estados membros da união europeia estão cada vez mais empenhados em adotar e implementar medidas direcionadas para a redução das emissões de gases com efeito de estufa<sup>1</sup> (GEE) para a atmosfera, dentro dos quais se destaca o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Existe, neste momento, uma enorme vontade na alteração da dependência de energias fósseis substituindo-as por outras fontes de energia, consideradas não convencionais, e de encorajar mudanças comportamentais nos cidadãos europeus com vista à sua adaptação a hábitos de vida mais sustentáveis (Intelligent Energy, 2009).

Desde os anos 70 que a eficiência energética e a conservação de energia têm vindo a ser uma componente chave no que diz respeito à segurança energética. Recentemente, estas duas componentes têm vindo a ser vistas, também, como formas efetivas de redução de emissões de GEE provenientes da combustão de combustíveis fósseis e como mitigação das alterações climáticas que se têm vindo a verificar (Tanaka, 2001). O sector da indústria é responsável, atualmente, por uma grande parte da energia que é consumida globalmente. Foram consumidos neste sector, só no ano 2006, cerca de 2,4 giga toneladas equivalentes de petróleo (Gtep), correspondentes a quase um terço da energia primária global consumida e a cerca de 36% das emissões totais de CO<sub>2</sub> relacionadas com a utilização de energia mundial (Tanaka, 2001).

A nível nacional, e segundo a avaliação estratégica realizada pelo Quadro de Referência Estratégica Nacional (QREN), a energia consumida no setor da indústria, agricultura e pescas, construções e obras públicas, transportes, sector doméstico e serviços perfeitamente um total estimado em 16,9 mega toneladas equivalentes de petróleo (Mtep), dados de 2011 (QREN, 2013). Como se pode verificar pela Fig. 1.1, embora a realidade atual possa ser um pouco diferente da verificada no passado, o peso do sector da indústria é bastante significativo face ao consumo total de energia final registado no país.

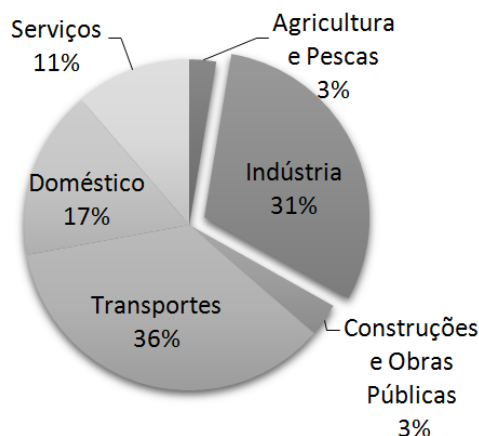


Fig. 1.1 - Consumo de energia final por sector, Portugal 2011. (QREN, 2013)

As previsões feitas pela "International Energy Agency" (IEA) sugerem que o valor das necessidades energéticas mundiais poderá aumentar, em média, e no período compreendido entre 2011 a 2035, cerca de um terço face ao seu valor atual, prevendo-se que perto de metade

<sup>1</sup> I.e., Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Metano (CH<sub>4</sub>), Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O), Hidrofluorcarbonetos (HFCs), Perfluorcarbonetos (PFCs), Hexafluoreto de Enxofre (SF<sub>6</sub>).

do aumento do consumo de eletricidade seja suprimido pelo fornecimento de energias renováveis. A Europa, e seguramente Portugal, não está excluída desta tendência mundial que pode ser explicada, na sua grande maioria, pelo aumento geral das condições padrão de vida (IEA, 2013).

Segundo os dados fornecidos pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) em Portugal, e registados pela empresa Redes Energéticas Nacionais (REN), verificou-se no ano de 2011 um consumo total de energia elétrica que perfize os cerca de 50,5 GWh como demonstrado na Fig. 1.2 (ERSE, 2012).

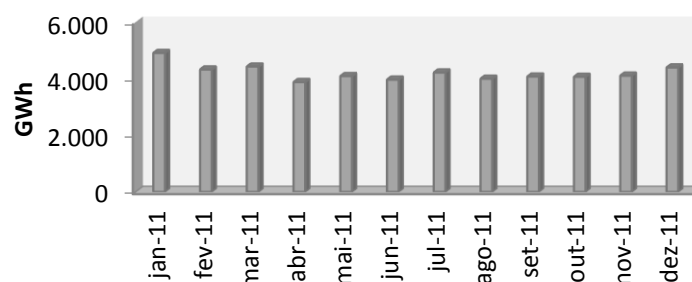
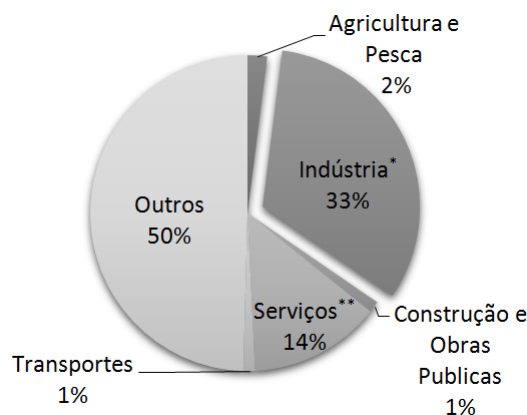


Fig. 1.2 - Consumo de eletricidade em Portugal, 2011. (Fonte: REN) (ERSE, 2012)

Consumo que a PORDATA<sup>2</sup>, com dados previstos<sup>3</sup> pelo Instituto Nacional de Estatística (INE) – no documento de Classificação Portuguesa das Atividades Económicas (CAE.Rev3) sob a responsabilidade da Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG/MEE) – diferenciou pelos diferentes sectores de atividade económica existentes em Portugal apresentados na Fig. 1.3 (INE, 2007). De onde se destaca o peso relativo do sector da indústria no consumo total de energia elétrica do país.



(\*) Indústrias extrativas; e Indústrias transformadoras.

(\*\*) Comércio por grosso e retalho; Restauração; Alojamento; Bancos; e Seguros.

Fig. 1.3 - Consumo de energia elétrica por sector, 2011. (INE, 2007)

<sup>2</sup> A PORDATA é uma base de dados de serviço público de Portugal contemporâneo organizada pela Fundação Francisco Manuel dos Santos, FFMS, no ano de 2009.

<sup>3</sup> É necessário referir que estes dados são de uma previsão, sendo por isso expectável a diferença registada, que situa em cerca de 1,4 GWh, entre os dados de consumo totais de energia elétrica por sector fornecidos por esta entidade e os registados dados registados pela REN, que perfizeram um total de 50,5 GWh (Fig. 1.2).

É necessário, cada vez mais, inverter esta tendência aumentando a eficiência energética, dado que esta constitui a forma mais rápida e menos dispendiosa de o fazer, limitando-se o aquecimento global provocado pelas emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. Este tipo de aproximação tem a capacidade de reduzir a procura de energia, o que por sua vez reduz o seu custo de utilização, conduzindo ainda a uma maior segurança de abastecimento.

Para além dos custos relacionados com a energia de uma determinada organização, o consumo de energia contribui para a degradação ambiental e social, bem como para problemas como as alterações climáticas (ISO, 2011). A identificação de novas oportunidades para se poupar energia é vital não só para que os governos criem políticas adequadas, mas também para que a indústria implemente ações técnicas de poupança de energia. A identificação destas oportunidades passa pelo seguimento do consumo energético e dos seus dados registados, bem como pela realização de auditorias e programas de *benchmarking* (abordado no Capítulo 2.5), sendo que estes últimos podem ser implementados em combinação com novos regulamentos, acordos ou medidas financeiras (Tanaka, 2001).

## 1.2. Objetivos e Âmbito

O presente documento tem como principal objetivo demonstrar os resultados da auditoria energética realizada a um edifício de indústria, mais concretamente às instalações de uma empresa de alimentação natural – a Provida. Não sem antes analisar o estado energético do país bem como alguns dos principais programas criados pelo estado com o objetivo de reverter a tendência descrita na secção anterior do presente capítulo.

A análise da auditoria energética realizada na empresa será dividida nos seguintes objetivos de estudo:

1. Avaliação preliminar do estado energético da empresa, através da recolha e análise prévia de informação preliminar existente em faturas energéticas, registos de consumo, características dos equipamentos e a uma visita prévia às instalações.
2. Apresentação do trabalho de campo realizado, que teve como base a reunião introdutória com o responsável da empresa, e permitiu analisar as características técnicas e de funcionamento de equipamentos bem como a identificação de possíveis Medidas de Redução do Consumo de Energia (MRCE).
3. Análise de resultados e medições feitas no local, assim como da fatura elétrica da empresa, antes e após da implementação da MRCE, de forma a determinar o possível impacto da mesma.
4. Apresentação e realização de um estudo de viabilidade técnico-financeira de outras MRCE propostas. Previsão da poupança anual de energia obtida pela implementação de todas as MRCE propostas.

## 1.3. Organização da Dissertação

Este documento encontra-se dividido em sete capítulos com os seguintes conteúdos:

**Capítulo 1.** Neste capítulo é feita uma revisão de literatura acerca das metas, prazos e legislação energética na Europa e em Portugal. De entre as quais se encontram a nova legislação de eficiência energética adotada em Portugal, a Norma EN ISO 50001, e os planos nacionais de ação para a eficiência energética e energias renováveis, PNAEE e PNAER, respetivamente.

**Capítulo 2.** É feita uma revisão de literatura acerca do estado de arte de algumas das MRCE que serão propostas ao longo do documento. Apresentação de uma breve revisão acerca do estado de arte da tecnologia LED, bem como das principais características de um sistema de produção solar fotovoltaico e de um sistema de climatização de um edifício. Introdução da noção de eficácia energética tendo em conta a sua importância na avaliação do impacto de algumas das MRCE propostas. Pequena introdução aos programas de efeito comportamental e às suas principais características.

**Capítulo 3.** Apresentação do planeamento energético realizado no que diz respeito à MRCE implementada na empresa, referente à substituição do sistema de iluminação existente por um mais eficaz e eficiente. Análise da fatura energética da empresa, antes (através da Metodologia I) e após (pelas Metodologias II e III) a intervenção na empresa, e apresentação de estimativas de consumo de energia elétrica anual para os dois períodos, respetivamente. Avaliação do erro mínimo associado à previsão anual do consumo de energia elétrica da empresa após a implementação da MRCE.

**Capítulo 4.** Realização de um estudo de implementação de um sistema solar fotovoltaico que permita suprimir uma *baseline* de consumo de energia elétrica na empresa. Dimensionamento de um novo sistema de climatização para a fração de escritórios existente no edifício, nomeadamente pelo cálculo das suas necessidades de aquecimento e arrefecimento. Apresentação de outras MRCE com o intuito de aumentar a eficácia e a eficiência dos sistemas consumidores de energia do espaço estejam estes situados no armazém ou na fração de escritórios anteriormente descrita.

**Capítulo 5.** Apresentação e discussão dos resultados que se esperam obter pela MRCE implementada e pelas MRCE propostas. Apresentação e discussão do tempo de retorno (*payback*) de algumas destas medidas em função da sua poupança energética associada.

**Capítulo 6.** Apresentação geral dos resultados obtidos com a implementação da MRCE identificada bem como das restantes MRCE propostas.

## 2. Metas, Prazos e Legislação Energética

### 2.1. Política Energética e Conclusões do Conselho Europeu

Durante o Conselho Europeu de Bruxelas (CUE, 2007), que ocorreu nos dias 8 e 9 de Março de 2007, foram, entre outras, definidas estratégias de proteção do clima e de criação de políticas energéticas e do seu seguimento no âmbito da importância da imposição de um limite – assinado no Protocolo de *Quioto*<sup>1</sup> – de aumento máximo, de 2°C, da temperatura média do globo em comparação à registada nos níveis pré-industriais.

A utilização e produção de energia são atividades com um elevado desgaste do ambiente, isto é, responsáveis por uma grande parte da libertação de gases com efeito de estufa para a atmosfera. A redução absoluta das emissões é assim, segundo o Conselho Europeu (CUE, 2007), a "espinha dorsal de um mercado global de carbono", pelo que cabe aos países desenvolvidos desempenhar funções adequadas e liderar os processos necessários para que se atinjam essas metas. Como tal, foi aprovado neste conselho o objetivo de se reduzirem, até 2020, as emissões europeias em cerca de 30% face aos valores de 1990, e com vista a um futuro ainda mais longínquo, no ano de 2050, entre 60 a 80% face ao mesmo ano referência. No entanto, este foi aceite apenas com a condição de que outros países desenvolvidos se comprometam a alcançar medidas comparáveis e que os países em desenvolvimento contribuam, também, adequadamente neste sentido. Tendo sido assumido, dessa forma, o compromisso independente na Europa de se alcançar uma redução de 20% até ao ano 2020 das emissões de gases com efeito de estufa – em relação ao ano de 1990 – até que haja a celebração de um acordo global e abrangente para o período pós-2012.

Segundo (CUE, 2007) o Conselho Europeu reconhece a necessidade de implementação de medidas baseada em políticas comunitárias e a repartição de obrigações acordadas a nível interno e em cooperação entre a Comissão e os Estados Membros. Para tal será sempre necessária uma análise prévia de critérios, que incluem todos os parâmetros que sejam pertinentes e comparáveis, e que serviram como base para debates futuros do tema. É reforçada, neste documento, a necessidade da criação de uma política energética integrada, e que envolva a cooperação a nível Europeu, de todos os seus Estados-Membros. Para tal, devem ser aplicadas medidas com uma boa relação custo-eficácia para melhorar a competitividade e o impacto ambiental das indústrias, sendo que estas estão na base da forte intensidade energética<sup>2</sup> na Europa.

No ponto 32 do capítulo III deste documento, salienta-se que a União Europeia (UE) está empenhada em transformar o espaço Europeu numa economia regida por uma alta eficiência energética, reduzindo as suas emissões de gases com efeitos de estufa. Salienta-se da mesma forma a importância da necessidade de existir uma abordagem diferenciada quanto aos contributos de cada Estado-Membro, que não pode deixar de ser transparente e de ter em conta as especificidades e necessidades de cada nação, bem como dos anos de referência a considerar no período inicial do cumprimento do Protocolo de *Quioto*. Adotou-se, assim, o termo de Política Energética para a Europa (PEE), em que foram sublinhados três objetivos que visam abordar e integrar duas políticas distintas (climática e energética) de forma a combater de forma

---

<sup>1</sup> Protocolo assinado no dia 11 de Dezembro de 1997, em Quioto e que traçou o objetivo de contenção de emissões mundiais de gases com efeito de estufa para a atmosfera.

<sup>2</sup> A intensidade energética é um indicador de eficiência energética que traduz o consumo de energia final em relação ao Produto Interno Bruto. Uma menor intensidade energética traduz-se numa maior eficiência energética da economia/produto.

rápida e efetiva os problemas enunciados. Estes objetivos, segundo a nota de envio remetida para as várias delegações por parte da presidência do Conselho, passam por aumentar a segurança do aprovisionamento, assegurar a competitividade das economias europeias e a oferta energética a preços acessíveis e, finalmente, promover a sustentabilidade ambiental, fazendo assim frente às alterações climáticas.

Ainda em (CUE, 2007) é referido que o plano estratégico nacional (que será discutido na Secção 2.3) fornece algumas medidas e orientações claras para que se atinja uma política internacional de energia e para que se estabeleçam metas quantitativas para a eficiência energética, o uso de energias renováveis e a utilização de biocombustíveis. O principal objetivo é a necessidade de se fixarem as emissões de carbono de modo ambientalmente seguro, e tal só será possível se forem estabelecidas medidas realmente ambiciosas e sobretudo exequíveis. No entanto, é possível afirmar que será sempre necessário um seguimento das medidas aplicadas, com o objetivo de se reverem regularmente as políticas climáticas e energéticas propostas e registando-se os resultados e progressos alcançados através das mesmas.

### **2.1.1. Política Energética para a Europa, PEE**

No capítulo IV de (CUE, 2007) – “Eficiência energética e energias renováveis” – é feita uma referência à conjuntura energética atual, em que se tem vindo a verificar uma crescente procura de energia e do aumento do seu preço. Existe uma evidente preocupação na adoção de uma ação rápida e determinada, à escala internacional, que permita inverter estas tendências. Este tipo de ação, através do desenvolvimento da eficiência energética e das energias renováveis na Europa, permitirá reforçar não só a segurança energética bem como atenuar o aumento dos preços da energia que se têm vindo a verificar, e, simultaneamente, reduzir as emissões de gases com efeito de estufa para a atmosfera, tal como pretendido pela UE.

Com vista às preocupações referidas anteriormente, o Conselho Europeu reforça a necessidade de aumentar a eficiência energética na UE, em relação aos valores projetados para 2020, e apela à necessidade dos Estados-Membros utilizarem, adequadamente, os seus planos de ação nacionais para a eficiência energética. Para além destas medidas apela-se à rapidez e totalidade da implementação de medidas que visem a eficiência energética nos transportes, os requisitos mínimos de eficiência dos equipamentos consumidores de energia, o comportamento dos consumidores de energia em termos de eficiência e economia energéticas, tecnologias e inovações energéticas e economização de energia dos edifícios.

Existem, no entanto, algumas preocupações mais específicas tais como, a utilização de lâmpadas mais eficientes, que terá um especial enfoque neste documento, e outras formas de iluminação doméstica ou mesmo a iluminação urbana e dos edifícios empresariais. Medidas como a celebração de acordos internacionais de eficiência energética, cujo principal objetivo é o desenvolvimento do esforço comum à escala mundial, ou mesmo a realização de negociações internacionais para o incentivo ao comércio internacional de bens e serviços ambientais e energeticamente eficientes, são descritos com uma alta relevância por parte do Conselho Europeu, sem nunca esquecer a necessidade da criação de incentivos que possam promover ainda mais este tipo de medidas.

São ainda referidos como prioritários todos os tipos de energias renováveis, quando utilizados de forma rentável, uma vez que existe um compromisso em assegurar a segurança do aprovisionamento e a contribuição para a competitividade e sustentabilidade na indústria, garantido um maior interesse por parte de investidores, investigadores e inovadores. A criação de um mercado melhorado e com uma excelente relação custo-eficácia permitirá reduzir as emissões com custos mínimos e contribuir bastante para o cumprimento das metas Europeias. Nesse sentido é reconhecida a necessidade de investigação sobre a energia bem como a promoção do aumento de competitividade das energias renováveis e das tecnologias com baixas emissões de dióxido de carbono.

## 2.2. Quadro das metas europeias «20-20-20»

Segundo (Conselho de Ministros n.º20, 2013) o quadro das metas europeias «20-20-20» define quais os objetivos energéticos, de todos os países pertencentes à UE, a serem cumpridos até ao ano 2020. Pretende-se: (a) alcançar uma redução significativa das emissões de gases com efeito de estufa de 20%, relativamente aos níveis de 1990; (b) aumentar em 20% a quota de utilização de energias renováveis no consumo final bruto; (c) reduzir o consumo de energia primária em 20%, face à projeção do consumo para 2020 – prevista pelo modelo *PRIMES*<sup>3</sup> que foi efetuada a partir do *Baseline 2007* – através do aumento da eficiência energética.

Foi estabelecido no entanto, em (Conselho de Ministros n.º20, 2013), e para o caso específico de Portugal, uma redução de 25% num consumo de energia esperado de cerca de 30 Mtep – também pelo modelo *PRIMES* – no ano de 2020, situando-o nos cerca de 22,5 Mteps, ou seja, uma redução de 7,5 Mtep face ao valor esperado. Foi, para além do referido, estabelecida uma redução, em particular para o consumo energético nos edifícios do sector público, de 30%. Pretende-se ainda que 31% do consumo final bruto de energia e ainda 10% da energia total utilizada para os transportes seja feito com recurso a energia proveniente de fontes renováveis, endógenas<sup>4</sup>. Quer-se, em simultâneo, reduzir a dependência energética do país ao alcançar um *mix* energético equilibrado, garantindo assim uma maior segurança do abastecimento. Os objetivos anteriormente apresentados têm como objetivo que se atinja a meta ambiental que pretende limitar, até 2020, em 1% – e face aos valores de 2005 – as emissões de gases com efeito de estufa em todos os setores não cobertos pelo regime de Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE)<sup>5</sup>.

## 2.3. Estratégia Nacional, PNAEE 2016 e PNAER 2020

Segundo (Conselho de Ministros n.º20, 2013) existe como principal preocupação, no que respeita à energia consumida no país, a implementação de um novo modelo energético construído com base na racionalidade económica e na sustentabilidade. Para que se atinjam esses dois objetivos existe a necessidade de, essencialmente, adotar medidas de eficiência energética e aumentar substancialmente a utilização de energias provenientes de fontes renováveis, reduzindo dessa forma o sobrecusto<sup>6</sup> que influencia bastante os preços da energia.

Foram criados, nesse sentido, o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) e o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER), que pretendem assegurar que se atingem os objetivos impostos pela União Europeia, garantindo da mesma forma a continuidade das medidas que permitem alcançar o desenvolvimento do modelo energético proposto sem comprometer a competitividade entre empresas e/ou a qualidade de vida dos cidadãos europeus. Pretende-se ainda, com a sua implementação, reforçar a necessidade de adoção e coordenação dos já existentes programas de eficiência energética, como são o exemplo do, Fundo de Eficiência Energética, Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Elétrica, Fundo de Apoio à Inovação, e Fundos do Quadro de Referência

---

<sup>3</sup> O *PRIMES* é um modelo de equilíbrio dos mercados de energia na União Europeia, é utilizado para previsão, construção de cenários e análise do impacto de políticas criadas até ao ano 2030.

<sup>4</sup> Em detalhe na base de dados de fontes renováveis de energia e2p (INEGI, 2014).

<sup>5</sup> O Comércio de Licenças de Emissão é um mecanismo flexível previsto no contexto do Protocolo de Quioto, sendo que, por sua vez, constitui o primeiro instrumento de mercado intracomunitário de regulação das emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE) (APA, 2014).

<sup>6</sup> Este sobrecusto está essencialmente relacionado ao (mais elevado) custo de produção das denominadas energias convencionais, como é o caso das centrais termelétricas a *diesel* ou carvão, etc.

Estratégica Nacional. Prende-se, segundo este documento, reforçar ainda a necessidade de conclusão da execução do programa de Eficiência Energética na Administração Pública (ECO.AP) bem como a grande necessidade que existe em reforçar a diversificação de energia, tendo sido reavaliados não só os investimentos em energias renováveis como novos modelos de remuneração para a utilização de tecnologias mais eficientes, com papel relevante.

Até ao ano 2013 estes dois planos haviam sido tratados separadamente, tendo sido agora integrados de maneira a que possa existir uma ação centrada no cumprimento dos objetivos nacionais e europeus, reduzindo assim o investimento necessário e aumentando a competitividade nacional. Foram desta forma alinhados os respetivos objetivos, tendo como base o consumo de energia primária e a necessária contribuição do sector energético para que se reduzam as emissões de gases com efeito de estufa. Foram substituídas, após esta integração, as medidas que eram de certa forma difíceis de quantificar ou que teriam um impacto final reduzido, por medidas eficazes e ainda reforçadas outras medidas existentes, com maior facilidade de implementação e de menores custos (ADENE, 2014). A criação destes dois planos foi feita com base na necessidade de criação de instrumentos de planeamento energético que permitissem alcançar as metas e os compromissos assumidos por Portugal em matéria de eficiência energética e da sua utilização de energia proveniente de fontes renováveis (ADENE, 2014).

O PNAEE 2016 abrange seis áreas específicas cujos contributos na redução dos consumos energéticos são preponderantes, o sector: dos Transportes; Residencial e de Serviços; da Indústria; do Estado; dos Comportamentos e da Agricultura. Serão abordados neste capítulo, em detalhe, os sectores da Indústria e o Comportamental, uma vez que estes são os que mais se identificam com a natureza do documento. Em relação ao PNAER 2020 foi feita uma divisão em três grandes setores, do Aquecimento e Arrefecimento; da Eletricidade; e dos Transportes. Será abordado essencialmente, neste capítulo, o sector da Eletricidade, pelo motivo referido anteriormente.

### **2.3.1. PNAEE 2016**

#### *2.3.1.1. Indústria*

As medidas propostas para este sector, especificamente, incidem essencialmente na implementação do Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia (SGCIE), sendo dado um foco especial ao potencial de economias de energia que constam dos Planos de Racionalização de Energia (PREn), e que resultam da execução de auditorias energéticas obrigatórias. As medidas foram desagregadas em três áreas distintas do SGCIE, as medidas transversais, específicas e outros setores. Estas medidas/tecnologias encontram-se ainda divididas e atribuídas a diversos âmbitos ou sectores que se tenham em consideração. Pretende-se uma promoção e revisão do SGCIE, no sentido de se alargar o seu âmbito de aplicação bem como de melhorar a monitorização de consumos energéticos ou das condições de incentivo à sua implementação. É essencial aperfeiçoar ainda a monitorização da implementação das medidas de eficiência energética através da utilização de protocolos de medição e verificação das mesmas. A revisão feita no documento tem, ainda, como objetivo dinamizar a adesão das empresas às normas europeias sobre os sistemas de gestão de energia (como é o caso da norma EN ISO 50001, revista em detalhe na Secção 2.5.).

É utilizada, no PNAEE, uma metodologia de seguimento do tipo *Bottom-up* na avaliação do impacto das medidas propostas no consumo de energia final e de energia primária do país. Esta metodologia é uma estratégia de processamento de informação e ordenação do conhecimento que processa a informação com base em dados de entrada, obtidos no meio pertencente do sistema, e que permitem formar uma perceção realista dos mesmos. A poupança energética é calculada com base nos dados nacionais ou agregados sectoriais, tendo por base um ano de referência, permitindo assim monitorizar a evolução da eficiência energética de cada



sector. Para a metodologia de seguimento de cada medida, em específico, foram consideradas diferentes e adequadas variáveis e/ou pressupostos para se determinar qual seria o seu impacto.

Tabela 2.1 - Impacto do setor da Indústria. (Fonte: PNAEE)

Programa	Medida	Resultados							
		Energia Poupada (tep)		Meta 2016 (tep)		Execução 2016 <sup>(1)</sup>	Meta 2020 (tep)		Execução 2020 <sup>(2)</sup>
		Final	Primária	Final	Primária		Final	Primária	
SGCIE	Ip1m1	16.093	18.010	100.000	111.912	16%	150.000	200.000	9%
	Ip1m2	3.693	3.693	20.000	20.000	18%	36.000	36.000	10%
	Ip1m3	22.800	22.800	110.000	110.000	21%	150.000	150.000	15%
Medidas anteriores		135.309	135.309	135.309	135.309	100%	135.309	135.309	100%
Total PNAEE		177.895	179.812	365.309	377.221	49%	471.309	521.309	34%

<sup>(1)</sup> Face à energia final

<sup>(2)</sup> Face à energia primária

Pode-se verificar, pela Tabela 2.1, que existem alguns dados sobre o impacto de medidas anteriores, que são responsáveis por uma grande parte dos resultados obtidos pela aplicação do PNAEE, que se encontra a uma taxa de execução de 34% no que diz respeito ao que se pretende atingir até ao ano 2020. Os dados presentes nesta tabela são referentes ao ano 2013, ano em que foi dado o parecer da Resolução do Conselho de Ministros n.º20/2013, pelo que é esperado que neste preciso momento existam algumas melhorias face aos valores aqui apresentados. Esperam-se obter, recorrendo apenas a medidas transversais – apresentadas com o código Ip1m1 (Tabela 2.2) –, poupanças na ordem dos 100.000 tep no consumo de energia final e de 111.912 tep no consumo de energia primária até 2016. Já para o ano 2020 espera-se uma diminuição de cerca de 150.000 tep no consumo de energia final e de 200.000 tep no consumo de energia primária. Encontrando-se numa fase de execução de 16% do total que se pretende atingir face ao consumo de energia final em 2016, e de 9% do que se pretende atingir face ao consumo de energia primária no ano 2020.

Tabela 2.2 - Medidas Transversais Propostas, Ip1m1. (Fonte: PNAEE)

Medidas Transversais	
Âmbito	Medida/Tecnologia
Motores Elétricos	Otimização de motores
	Sistemas de bombagem
	Sistemas de ventilação
	Sistemas de compressão
Produção de Calor e Frio	Cogeração
	Sistemas de combustão
	Recuperação de calor
	Frio Industrial
Iluminação	Iluminação eficiente
Eficiência do Processo Industrial e Outros	Monitorização e controlo
	Tratamento de efluentes
	Integração de processos
	Manutenção de equipamentos consumidores de energia
	Isolamentos térmicos
	Transportes
	Formação e sensibilização de recursos humanos
	Redução da energia reativa

O impacto previsto para as medidas específicas/sectoriais – com o código Ip1m2, Tabela 2.3<sup>7</sup> – é visto como um todo, e inclui vários sectores da indústria. São esperadas, no seu conjunto, diminuições no consumo de energia final e de energia primária idênticas, de 20.000 tep para o ano 2016 e de 36.000 tep para o ano 2020. O país encontrava-se, em 2013, numa fase de execução de 18% do total que se pretende atingir face ao consumo de energia final em 2016 e nos 10% do que se pretende atingir face ao consumo de energia primária no ano 2020.

Tabela 2.3 - Medidas Específicas ou Sectoriais, Ip1m2. (Fonte: PNAEE)

Medidas Específicas ou Sectoriais	
Sector	Medida/Tecnologia
Alimentação e Bebidas	Otimização de esterilização
	Processos de separação com membranas
	Mudança de moinhos horizontais para verticais
	Destilação a vácuo

É previsto também o impacto da implementação do SGCIE noutros sectores – com o código Ip1m3 – pela identificação do potencial económico existente. Está, ainda, identificado o potencial resultante dos novos projetos de cogeração e de outras ações que não estejam relacionadas à implementação do SGCIE e que conduzam ao aumento de eficiência energética na indústria. Prevê-se um impacto na ordem dos 110.000 tep nos consumos de energia final e primária até ao ano 2016, e uma poupança de 150.000 tep até ao ano 2020. Tendo sido, neste caso, atingidos os patamares de 21% do esperado para o consumo de energia final no ano 2016 e 15% para o consumo de energia primária face ao ano 2020.

#### 2.3.1.2. Comportamento

É pretendido, através da aplicação de medidas comportamentais, promover novos hábitos e atitudes no sentido de tornar os consumidores energeticamente mais eficientes. Passa por este programa, ainda, a recomendação de produtos eficientes através de campanhas de sensibilização e comunicação. Nesse sentido não é pretendido implementar novas medidas, mas sim ajustar comportamentos já existentes.

Demonstra-se ainda uma enorme necessidade em monitorizar o impacto que a alteração de comportamentos terá, e como tal foi necessário recorrer, mais uma vez, a indicadores *bottom-up* para avaliar as medidas específicas. Sendo referido que no entanto, este tipo de indicadores não garante a monitorização do universo de medidas, pondo em causa a veracidade dos impactos monitorizados. São utilizados, de uma forma genérica, indicadores *top-down*, que permitem identificar os efeitos comportamentais existentes nas medidas aplicadas. Estes indicadores permitem ainda estimar o impacto de uma medida em particular, bem como analisar a sua relação custo-benefício e/ou a sua fiabilidade de execução. Neste caso, a poupança de energia é calculada a partir da soma das estimativas de impacto de cada medida. Devido à dificuldade de quantificar o impacto futuro das medidas existentes no programa, encontram-se quantificados apenas os impactos de medidas já avaliadas noutros relatórios já executados. A quantificação do impacto das medidas deste programa é feita ainda com base no acréscimo que estas possam vir a ter no futuro.

Este programa encontra-se dividido em cinco tipos de medidas que visam a comunicação da eficiência energética com o objetivo de induzir a adoção de boas práticas comportamentais nos indivíduos, em casa e no trabalho, e nas suas deslocações. A incidência

<sup>7</sup> Estão apresentadas na tabela apenas as medidas diretamente relacionadas com o estudo apresentado neste documento, mais concretamente relacionadas com a Indústria Alimentar.

das medidas é, essencialmente, na correta utilização dos equipamentos consumidores de energia, na utilização de sistemas de monitorização e apoio à gestão dos consumos. Estas medidas são ainda complementadas com ações dirigidas à substituição de equipamentos menos eficientes. As medidas estão divididas em Energia nas Escolas, Energia nos Transportes, Energia em casa, Energia no Trabalho e Contadores Inteligentes.

#### 2.3.1.3. Fontes de Financiamento

Pretende-se que o PNAEE 2016 seja executado através de medidas regulatórias, onde serão impostas não só penalizações sobre equipamentos ineficientes mas também requisitos mínimos de classe de desempenho energético. Foram criados, nesse sentido, mecanismos de incentivo ao financiamento proveniente de fundos que disponibilizem verbas para a aplicação e execução de programas de eficiência energética, tais como: Fundo de Eficiência Energética (FEE); Fundo de Apoio à Inovação (FAI); Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Elétrica (PPEC); Fundo Português do Carbono (FPC); e Quadro de Referência Estratégico Nacional (QREN). É atribuída uma enorme importância ao papel da DGEG na correta utilização dos vários instrumentos de financiamento existentes, e na sua adequada coordenação juntamente com as suas entidades gestoras.

#### 2.3.1.4. Monitorização

Pretende-se que haja um controlo de cumprimento das metas definidas pelo PNAEE para que se atinjam as poupanças, relativas ao aumento da eficiência energética, pretendidas. Refere-se ainda a necessidade, para cada uma das medidas, da realização de uma avaliação continua e comparativa do seu custo-benefício.

### 2.3.2. PNAER 2020

#### 2.3.2.1. Eletricidade

O PNAER 2020 refere a grande evolução da contribuição das Fontes de Energia Renovável (FER) na produção de eletricidade ao longo da última década. Em 2011, Portugal tinha uma cota de potência instalada, e proveniente das FER, de cerca de 10.623 MW, valor que representa um aumento de 119% face ao valor registado no ano 2000 e de 10% acima do registado em 2010. No ano 2012, a potência FER instalada permitiu gerar cerca de 48% do total da produção bruta de eletricidade no país, valor superior aos 31% registados no início da década.

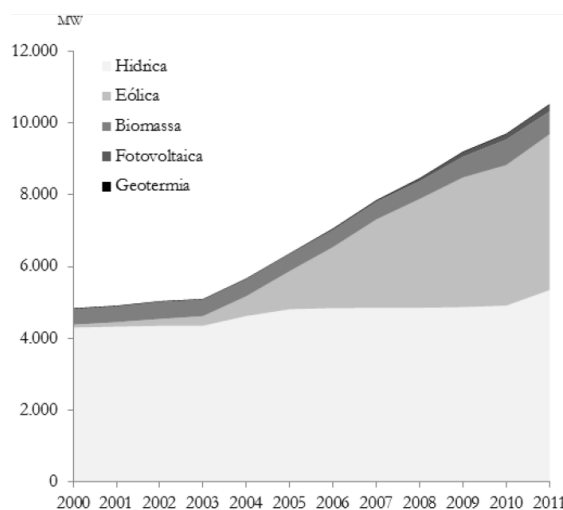


Fig. 2.1 - Evolução de Potência FER Instalada em Portugal. (Fonte: PNAER)

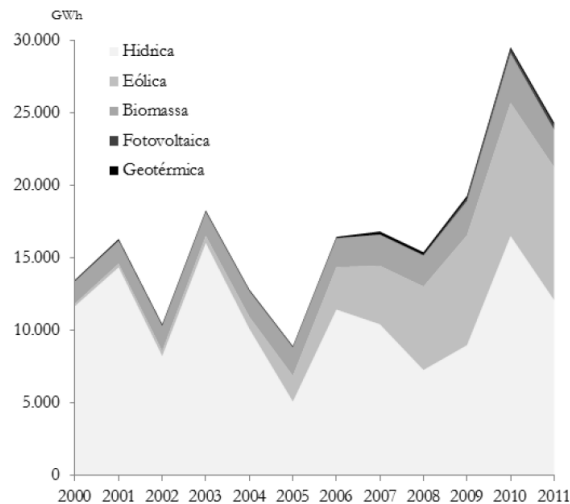


Fig. 2.2 - Evolução da Produção de Energia Elétrica FER em Portugal. (Fonte: PNAER)

Segundo os dados apresentados no PNAER 2020 no ano 2011 houve uma contribuição total das tecnologias baseadas em FER na ordem dos 10.623 MW, que correspondem a 24.983 GWh. De onde se destaca um contributo da energia fotovoltaica na ordem dos 172 MW, correspondentes a 277 GWh. É estimado, no entanto, que a contribuição total das FER aumente, até ao ano 2020, para um valor superior, de cerca de 15.824 MW e 32.300 GWh. Já a energia fotovoltaica, prevê-se que se situe numa contribuição de 670 MW e 1.039 GWh no ano 2020. Os valores apresentados no documento incluem apenas uma estimativa do contributo total de cada tecnologia baseada em FER e cujo objetivo seja atingir as metas obrigatórias de 2020. Não foram incluídas contribuições que provenham de projetos de produção de energia com base em fontes renováveis que possam vir a ser realizados com a disponibilização de fundos comunitários.

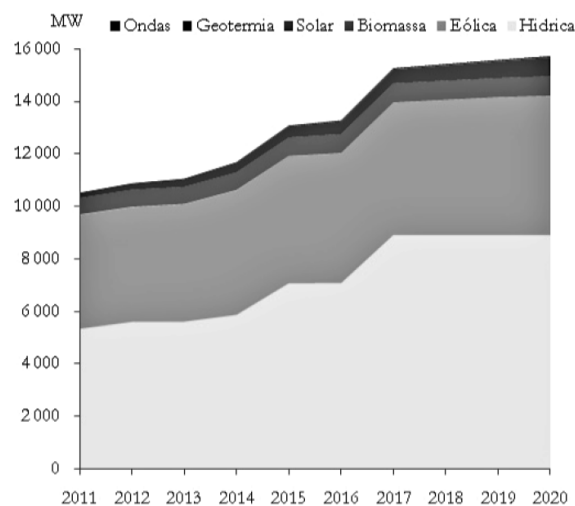


Fig. 2.3 - Evolução estimada da capacidade instalada FER. (Fonte: PNAER)

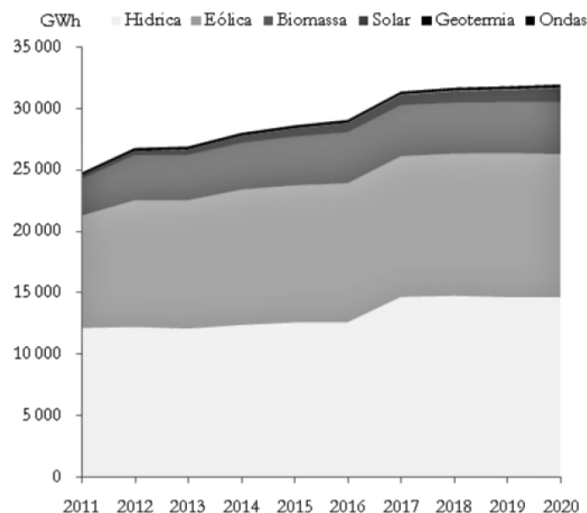


Fig. 2.4 - Evolução estimada da produção de eletricidade FER. (Fonte: PNAER)

Como se pode verificar, pelos gráficos referentes à evolução da capacidade instalada de FER e da sua produção de eletricidade, a energia eólica tem vindo a presenciar um enorme desenvolvimento em Portugal. Sendo responsável, juntamente com a energia hídrica, pela maior parte da produção de energia proveniente de FER. Prevê-se, no entanto, que esta progressão venha a diminuir até 2020 devido ao abrandamento da procura de energia.

A aposta na energia solar tem vindo, cada vez mais, a ter um papel fulcral no aumento da descentralização da produção de eletricidade, essencialmente devido à grande vantagem da sua produção se enquadrar nos períodos de maior consumo de energia e à sua enorme disponibilidade de recurso e capacidade de Investigação e Desenvolvimento (I&DT). Prevê-se, segundo o PNAER, a instalação de cerca de 250 MW de miniprodução até 2020, dirigida a indústrias, edifícios públicos e grandes armazéns de distribuição. De modo a melhorar a sua operacionalidade prevê-se ainda, até 2020, a fusão do regime de mini e microprodução, estanto previsto um aumento de 80 MW instalados desta última até esse ano. O PNAER destaca ainda a necessidade da descentralização de eletricidade em Portugal. Destacando a utilização e produção de energia elétrica recorrendo à energia solar que, devido ao seu ciclo de produção se adequa aos períodos de maior consumo de energia do país, se torna numa solução bastante desejável.

## 2.4. Relatório anual de objetivos de Eficiência Energética

Foi realizado pela DGEG, em 2013, o "*Annual Report on monitoring of the progress towards national 2020 energy efficiency target, in accordance with Directive 2012/27/EU*" (DGEG, 2013), ao abrigo do artigo 24, parágrafo 11, da diretiva de Eficiência Energética criada também em 2013. Este relatório serve para que Portugal, de acordo com os pressupostos da adoção desta diretiva, estabeleça metas no que diz respeito às reduções do consumo de energia proposta, bem como para que fosse submetido o primeiro relatório anual dos progressos obtidos para ir de encontro a essas mesmas metas. As metas encontram-se divididas em prazos previamente estabelecidos, realçando assim a importância do faseamento da aplicação de medidas com vista a obter os resultados pretendidos.

### 2.4.1. Até ao ano 2016

Procura-se obter, até ao ano de 2016, uma poupança geral de cerca de 1501 ktep, que correspondem a uma redução – em comparação com os dados de 2001-2005 (18368 ktep), referenciados no relatório referido – de 8,2%, sendo a poupança de energia primária de cerca de 1773 ktep. Este valor encontra-se abaixo da meta indicativa da UE, que é de 9%.

### 2.4.2. Até ao ano 2020

Segundo este relatório, o PNAEE 2016 demonstrou existir uma possibilidade de poupança de energia na ordem dos 2,4 Mtep, só através da criação e implementação de programas e medidas de eficiência energética. Caso estas sejam cumpridas como o planeado, espera-se uma redução de 26% no consumo de energia em 2020 – percentagem que excede a definida pelo quadro das metas europeias, que como foi referido na secção 3.2. é de 25%. Tendo em conta o estado atual da economia em Portugal, bem como as previsões projetadas de consumo energético, é estimado que o consumo de energia primária em Portugal no ano de 2020 seja de aproximadamente 23,8 Mtep, o que representaria uma redução de 20,7%. Um valor que é mais baixo que o proposto, no entanto acima do limite imposto pela união europeia, de 20%.

Foram diferenciadas, como foi já referido anteriormente, seis linhas de intervenção independentes: transportes; domicílios e serviços; indústria; sector público; comportamento e agricultura. Prevê-se que os programas criados nestas áreas tenham a possibilidade de reduzir um consumo adicional de energia primária de cerca de 1,7 Mteps no ano 2020 – estabelecendo assim o consumo de energia em Portugal nos 22,1 Mtep, em vez de 23,8 Mtep.

## 2.5. Norma EN ISO 50001

Ao longo das últimas décadas, essencialmente nos últimos anos, tem existido uma enorme evolução legislativa relativa ao aumento da eficiência energética nos edifícios. A aplicação destes regulamentos tem sido alvo de um enorme esforço por parte do governo português, com grande destaque também no que diz respeito à utilização de energia renovável nos edifícios. A forte promoção de eficiência energética, por parte do governo, permitiu que ao longo dos últimos anos se tenha adquirido alguma experiência relevante nesta área, o que contribuiu para um aumento da eficácia deste tipo de legislação em Portugal.

No ano de 2012 foi adotada a Norma Europeia ISO 50001:2012 elaborada pela ISO/TC 242 e adaptada pelo Instituto Português da Qualidade (IPQ), "*Energy Management*" (IPQ, 2012), tendo-lhe sido atribuído, em Portugal, o estatuto de Norma Nacional. Esta Norma será abordada de forma generalista neste capítulo, de modo a compreender-se qual é o seu âmbito de implementação bem como a sua implicação no trabalho apresentado neste estudo. Pretende-se demonstrar, neste capítulo, a importância do seguimento da Norma e as vantagens da adesão à certificação energética na Norma Europeia de Eficiência Energética.

Um dos principais objetivos da Norma é a especificação dos requisitos de um Sistema de Gestão de Energia (SGE), que permita a uma organização alcançar os seus compromissos energéticos, tomar as medidas necessárias para melhorar o seu desempenho energético e demonstrar que o seu sistema cumpre os requisitos desta Norma. A Norma é baseada na metodologia "*Plan-Do-Check-Act*" (PDCA) e incorpora a gestão de energia nas práticas diárias das organizações.

- **Plan:** realizar a avaliação energética e estabelecer as metas e planos de ação necessários para produzir resultados;
- **Do:** implementação dos planos de ação de gestão de energia;
- **Check:** monitorizar e medir os processos e características chaves das operações;
- **Act:** implementar ações que visem melhorar continuamente o desempenho do SGE.

Podendo a Norma ser utilizada para certificação, registo e auto declaração de SGE de uma organização. Não estão estabelecidos no entanto quaisquer requisitos absolutos para o desempenho energético além dos compromissos assumidos na política energética da organização. A Norma pode ainda ser integrada com outros sistemas de gestão, incluindo os relacionados com qualidade, ambiente e segurança e saúde ocupacional.

### 2.5.1. Requisitos gerais da Norma

A aplicabilidade da Norma destina-se a organização que queira garantir uma conformidade com a sua política energética, e que deseje demonstrá-la a terceiros. Esta conformidade pode ser demonstrada por meio de uma autoavaliação ou auto declaração, ou ainda pela certificação do SGE por uma organização externa que esteja habilitada a fazê-lo. Esta Norma baseia-se do pressuposto de que a organização irá periodicamente rever e avaliar o seu SGE para identificar oportunidades de melhoria e para garantir a sua implementação eficaz. É a organização quem determina o ritmo, a extensão e duração dos processos de melhoria, bem como quem define o que está incluindo ou não no SGE. Algumas medidas de melhoria do desempenho energético passam, por exemplo, pelo seguinte:

- Redução da ponta de consumo (Capítulo 3 e Capítulo 4);
- Utilização de excedentes de energia ou energia desperdiçada;
- Melhoria da operação dos seus sistemas, processos e/ou equipamentos (Secção 5.2);

A determinação do aumento do desempenho energético da organização poderá ser realizada com base na análise de alguns parâmetros, Fig. 2.5, que permitam identificar, de forma eficaz, a aplicação das medidas propostas.



Fig. 2.5 - Representação conceptual do desempenho energético. (Fonte: ISO 50001)

Segundo a Norma a adoção de uma política energética adequada é a base da implementação e melhoria do SGE bem como do desempenho energético da organização. A política energética de uma organização não tem necessariamente que ser um documento muito complexo, podendo ser apenas uma breve declaração que os membros da organização possam compreender facilmente e que possam aplicar às suas atividades de trabalho. A divulgação da política energética pode ser usada como meio de orientar o comportamento organizacional. Quando a organização presta ou utiliza serviços de transporte, pode incluir também o seu uso e consumo de energia no âmbito e fronteiras do SGE. Como tal, e em todo o caso, é necessário que exista um planeamento energético adequado que permita estabelecer prioridades e identificar áreas de uso significativo de energia e consumo para que a sua aplicação seja o mais clara possível.

## 2.5.2. Planeamento energético

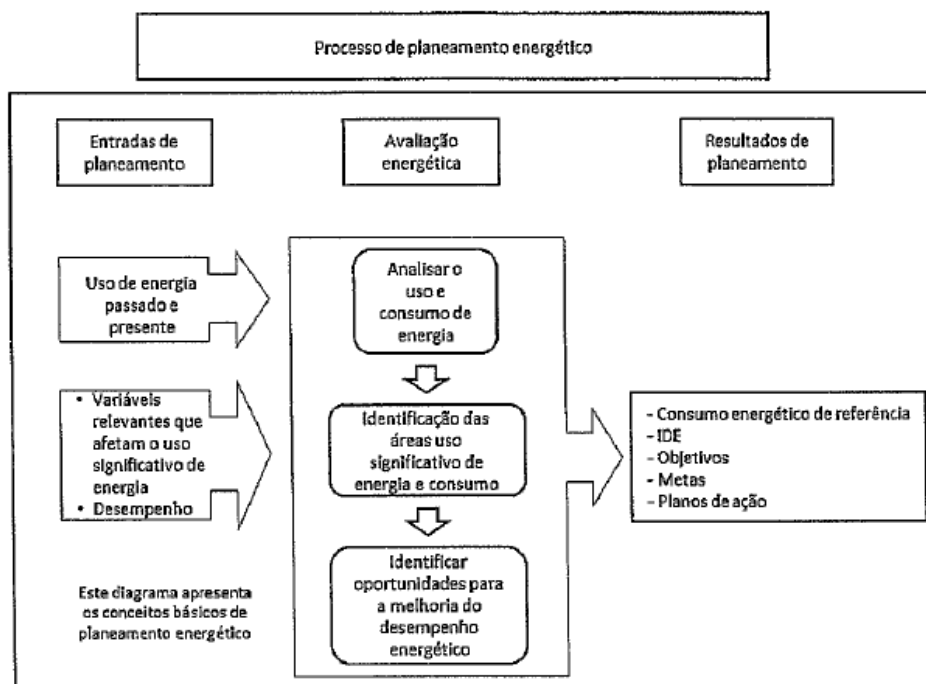


Fig. 2.6 - Diagrama do processo de planeamento energético. (Fonte: ISO 50001)

Durante o planeamento energético deverá ser realizado um *benchmarking* para recolha, análise e comparação dos dados de desempenho energético para se avaliarem e compararem os diferentes resultados da aplicação das medidas de melhoria do desempenho energético. A recolha dos dados pode ser interna, com o objetivo de destacar as boas práticas da organização, ou externa, tendo como prioridade garantir que o seu desempenho é o melhor no seu sector e/ou indústria.

Os resultados obtidos pelo *benchmarking* são, em todo o caso, uma informação bastante importante para a obtenção de uma avaliação energética objetiva e que permita estabelecer metas energéticas exequíveis e adequadas. É sublinhado que cada organização poderá ter os seus detalhes específicos ou circunstâncias em particular, pelo que o processo de planeamento energético não é um processo que siga exhaustivamente um determinado planeamento já existente.

### 2.5.2.1. Avaliação energética

O processo de avaliação do uso de energia pode levar uma organização a definir áreas de uso significativo de energia e identificar oportunidades de melhoria do seu desempenho energético. Deverá ser realizada uma auditoria energética que abranja a avaliação detalhada do desempenho energético da organização ou de um processo, ou ambos. Esta avaliação deve basear-se essencialmente na medição e na observação apropriada do desempenho energético real da organização, e nos seus resultados que devem incluir informações atualizadas do consumo e desempenho. Esta pode ainda ser acompanhada de uma lista de recomendações para melhoria do desempenho energético da mesma.

### 2.5.2.2. Indicadores de desempenho energético

A organização pode escolher os Indicadores de Desempenho Energético (IDE) que melhor informem acerca do seu desempenho energético e das suas operações, podendo estes ser



atualizados sempre que existam mudanças de atividade de negócio ou dos parâmetros que possam afetar direta ou indiretamente a sua relevância.

### **2.5.3. Verificação**

A auditoria interna ao sistema de gestão de energia pode ser realizada por pessoas pertencentes à organização ou por pessoas externas e selecionadas pela mesma, trabalhando em seu nome. Em organizações de menor dimensão, a independência do auditor pode ser demonstrada através da ausência de responsabilidade do auditor na atividade da organização a ser auditada. Deverá existir ainda uma revisão realizada pela gestão da organização e que deverá abranger todo o âmbito do SGE, apesar de não ser necessário que todos os seus elementos sejam simultaneamente revistos e que o seu processo deva incidir sobre um dado período de tempo.

Pretende-se com a implementação desta Norma que as organizações definam os processos necessários para melhorar o seu desempenho energético, incluindo a sua eficiência energética, uso e consumo de energia, e que com isto, que se caminhe para uma redução de custos da energia, das emissões de gases com efeito de estufa e impactes ambientais causados pela sua exaustiva utilização. Contudo, a implementação da Norma não é uma obrigatoriedade, isto é, a sua implementação tem apenas o objetivo de se preparar uma eventual e posterior certificação ou SGE da organização.

### **2.5.4. Objetivo**

A ISO 50001 tem o principal objetivo de providenciar, ao sector público e privado, estratégias de gestão que permitam aumentar a eficiência energética, reduzir custos e melhorar a performance energética (ISO, 2011). Com a implementação desta norma numa organização pretende-se iniciar uma assistência ao desenvolvimento de um melhor uso dos seus consumos de energia ativos, criar transparência e facilitar a comunicação enquanto se promovem boas práticas de gestão dos recursos energéticos (ISO, 2011). A Norma pretende ainda assistir as organizações na priorização e implementação de novas tecnologias de eficiência energética, facilitando a sua inclusão em projetos de índole de preservação ambiental e de redução de gases com efeito de estufa para a atmosfera. Existe, nesse caso, uma grande integração entre a ISO 50001 e outras normas que dizem respeito ao ambiente, saúde e segurança.



### 3. Revisão de Literatura

#### 3.1. Eficiência e Eficácia Energética

Antes de iniciar este capítulo é necessário referir que os termos eficácia energética e eficiência energética são dois conceitos que tendem em ser confundidos, no entanto são ambos distintos e bastante importantes quando se pretende melhorar um sistema consumidor de energia. A eficácia energética traduz-se em optar pela melhor forma de alcançar um resultado, enquanto a eficiência passa por desempenhá-la bem. Ou seja, torna-se não só necessário optar por equipamentos energeticamente mais eficientes, mas também por estudá-los e perceber qual a sua forma de aplicação mais eficaz e que promova ainda mais sua eficiência energética.

O aumento da eficácia energética constitui também uma necessidade da empresa, podendo esta garantir um contributo bastante significativo no aumento da eficiência energética. Existe uma necessidade constante na melhoria e operação de sistemas, processos e equipamentos, que poderão garantir não só uma melhoria na gestão dos recursos mas também uma melhoria no desempenho dos trabalhadores. A melhoria das condições de funcionamento de alguns dos sistemas em funcionamento num edifício poderá contribuir, em grande escala, para o aumento do desempenho geral da empresa, e como tal, pretende-se através da realização de uma auditoria energética detetar quais os principais problemas existentes e fornecer soluções para a sua constante melhoria, seja pela substituição de equipamento ou pela sua utilização mais eficaz. Quando uma empresa pretende aumentar a sua produção o caminho mais adequado é o de aumentar a sua eficácia energética e não a sua eficiência (tendo em conta que esta já se encontra num patamar bastante elevado). A eficiência energética não responde a todas as questões, é necessário que exista uma quase simbiose de ambos os aspetos para alcançar a sustentabilidade energética.

#### 3.2. Tecnologia LED

Atualmente, a utilização de energia dos sistemas de iluminação nos edifícios representa uma grande fatia dos custos relacionados com o consumo de energia elétrica. Existe, ainda, uma certa desconfiança em relação aos sistemas constituídos por lâmpadas do tipo *Light-Emitting-Diode* (LED), essencialmente devido à ideia de que estas têm elevados custos. O LED é a quarta e última tecnologia de fontes de iluminação existentes - após a primeira geração de lâmpadas incandescentes, a segunda de lâmpadas fluorescentes e a terceira de lâmpadas *High-Intensity-Discharge* (HID).

As lâmpadas LED são uma fonte de luz que tem vindo a ser, cada vez mais, utilizada em larga escala e para as mais diversas aplicações. Esta tecnologia, quando concebida adequadamente, oferece uma alta eficiência energética que resulta de fatores como o seu baixo consumo de potência, atingido por tensões e correntes de operação baixas, em comparação com as tecnologias de lâmpadas convencionais<sup>1</sup>. Estas têm por isso um rácio  $\text{Lúmen}^2/\text{Watt}$  superior, usualmente designado por eficácia de iluminação<sup>3</sup>. Este rácio é utilizado para descrever a eficiência energética dos LEDs, e é caracterizado em termos básicos pelo rácio entre a luz oferecida e a potência consumida pelo dispositivo. As fontes de iluminação que atingem maiores eficácias são as lâmpadas fluorescentes e os LEDs, essencialmente os de cor fria –

---

<sup>1</sup> Por convencionais entendam-se as lâmpadas incandescentes e fluorescentes.

<sup>2</sup> Lúmen é a unidade SI utilizada para quantificar o fluxo luminoso emitido por uma fonte de iluminação.

<sup>3</sup> A eficácia de iluminação é igual ao rácio entre o fluxo luminoso emitido pela fonte de iluminação e a potência que esta consome.

temperaturas de cor superiores a 4000 K (U.S. Department of Energy, 2009). No entanto estes últimos conseguem atingir eficácias até três vezes maiores que a dos melhores dispositivos utilizados para iluminação produzidos em 2005 (U.S. Department of Energy, 2013).

### 3.2.1. Principais características e métodos produção

A iluminação LED está associada a uma alta fiabilidade e performance, graças à sua elevada rapidez no tempo de resposta, à sua gama de temperatura de cor – que pode variar dos 4.500 K até aos 12.000 K –, ao facto de ter uma temperatura de operação que pode variar entre os -20°C e os 85°C e ainda pelo facto de não existirem quaisquer limitações ao arranque a frio, que, como será explicado adiante, não é possível através da utilização de outras lâmpadas de diferentes tecnologias, como é o caso específico das lâmpadas fluorescentes (Chang, Das, Varde, & Michael, 2011). Segundo (Bessho & Shimizu, 2012) as lâmpadas LED com uma única cor conseguem ser até dez vezes mais eficientes que as lâmpadas incandescentes. E, para além disso, com a grande vantagem de o seu período de vida útil poder atingir as dezenas de milhares de horas de funcionamento. Este tipo de lâmpadas não contém compostos como o mercúrio na sua constituição, o que por si só representa um enorme benefício em termos ambientais que não pode, nem deve, ser ignorado. Pode ainda ser considerada uma diminuição bastante significativa dos impactos causados à saúde devido à emissão de radiação UV por parte das lâmpadas, que no caso da tecnologia LED é bastante reduzida.

Existe, atualmente, uma certa tendência na criação de lâmpadas LED que reproduzam a cor branca, e estas podem ser concebidas de três formas distintas: (a) pela mistura de três cores primárias, vermelho, verde e azul (V-V-A); (b) com a utilização de um LED violeta com fósforo das mesmas três cores primárias V-V-A; (c) pela utilização de LEDs azuis e fósforo amarelo, Fig. 3.1. A obtenção de LEDs de luz branca resulta essencialmente da mistura de todos os comprimentos de onda visíveis, Fig. 3.2 (Bessho & Shimizu, 2012).

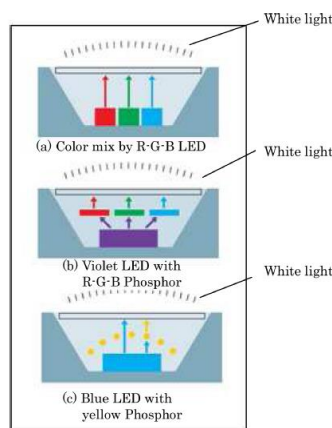


Fig. 3.1 - Métodos de produção de luz branca. (Bessho & Shimizu, 2012)

No entanto, há que afirmar que no caso (a) a utilização deste *design* para iluminação acaba por ter uma aplicação com cores pouco naturais devido à não radiação, por parte da lâmpada, de alguns comprimentos de onda. No caso do *design* (b) existe uma certa variação de cor com o aumento/diminuição da temperatura e/ou corrente, o que acaba por ser também uma condicionante para a sua utilização. O método (c), onde é combinado um LED de cor azul – cor complementar – com um material luminescente amarelo, designado na literatura por *phosphors* (Bessho & Shimizu, 2012). Neste caso o material luminescente é excitado pela absorção de UVs, ou até mesmo radiação visível, e altera – pelo menos parcialmente – o comprimento de onda da radiação emitida pelo LED, atribuindo-lhe assim a sua cor branca (Ronda, 2008). Este é, dos três métodos apresentados, o que atribui uma maior eficiência de utilização da lâmpada, e por isso o mais utilizado (Bessho & Shimizu, 2012).

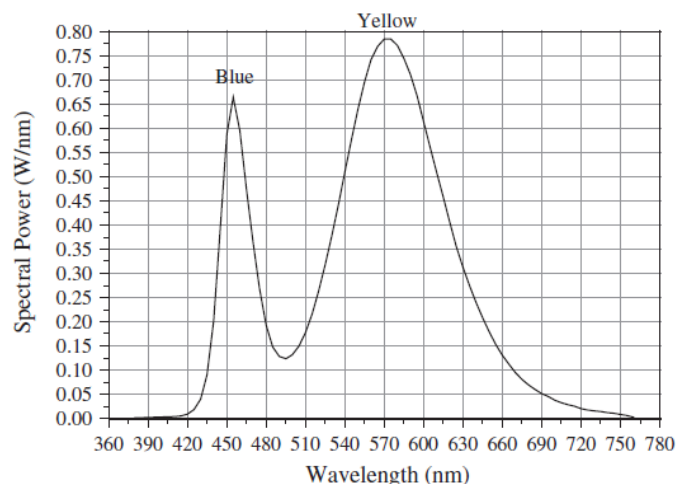


Fig. 3.2 - Distribuição espectral de um LED branco. (Chang, Das, Varde, & Michael, 2011)

Ao longo dos anos os LEDs têm vindo a se produzidos de forma a serem mais brilhantes, e a sua variação de cor tem-se tornado bastante mais flexível (Chang, Das, Varde, & Michael, 2011). Parâmetros como a sua eficiência e eficácia de iluminação têm vindo a ser desenvolvidas e tendem a aumentar. Estamos a presenciar um avanço de tecnologia que está a alcançar a sua terceira geração - tendo a primeira geração sido implementada nos anos 80, e a segunda logo após os anos 90 em que estes foram utilizados abundantemente em telemóveis, iluminação arquitetónica, placares de movimento utilizados em publicidade, etc. Os LEDs de terceira geração, e utilizados para a iluminação de maior intensidade, estão categorizados como sendo de alta potência (*Ultra-High-Brightness LEDs*), com potências superiores a 3 W – e correntes que variam entre os 350 mA e os 1000 mA. Os LEDs podem variar devido às curvas de corrente-tensão, uma vez que esta está dependente do tipo de material utilizado na sua construção.

### 3.2.2. Desvantagens da tecnologia

Atualmente um dos seus principais problemas desta tecnologia está diretamente relacionado com o seu custo inicial<sup>4</sup>. Apesar de se ter vindo a assistir a uma diminuição bastante significativa do mesmo, continua ainda a ser em muitos casos uma tecnologia mais cara que a tecnologia convencional. Existe também uma clara falta de informação, credível, acerca da sua durabilidade - que segundo a literatura pode variar entre 3 meses e 50.000 a 70.000 horas. Alguma literatura atribui-lhe, no entanto, um tempo médio de vida útil – definido como o tempo até à avaria ou até que haja um decréscimo abaixo dos 70% da intensidade luminica inicial da lâmpada – de cerca de 40.000 horas (Bessho & Shimizu, 2012). A quantidade de Lumens que sai dos dispositivos de iluminação degrada-se ao longo do tempo de utilização, enquanto a sua potência consumida se mantem constante – teoricamente. O que significa que a eficácia luminica se vai degradando ao longo do tempo e até ao final do seu tempo de vida útil. Esta degradação pode variar de dispositivo para dispositivo. Alguma literatura refere que uma lâmpada fluorescente T8 poderá atingir uma degradação luminica face à inicial de cerca de 95%, e a de um dispositivo LED poderá atingir os cerca de 70%. Significando, por isso, que a

<sup>4</sup> No entanto, e caso a sua durabilidade prevista seja atingida, ou pelo menos uma percentagem bastante relativa da mesma, o seu custo inicial acaba por ser compensado.

fonte mais eficaz de entre estas duas pode variar consoante o seu tempo de vida (U.S. Department of Energy, 2013).

### 3.2.3. Vantagens da tecnologia

O facto de os LEDs serem semicondutores<sup>5</sup> permite-lhes atingir um elevado número de horas de funcionamento, dado que estes se encontram livres de problemas como quebras de ligações elétricas, que ocorrem usualmente noutros tipos de lâmpadas (Bessho & Shimizu, 2012). No entanto, para que se atinjam estes valores é necessário que a temperatura de operação do LED seja mantida abaixo dos 100°C, uma vez que o aumento de temperatura está fortemente associado ao aumento da degradação deste tipo de dispositivos. A sua temperatura de operação está também associada, por outro lado, a um decréscimo da luminescência da lâmpada que é agravado com o aumento das horas de funcionamento do dispositivo, Fig. 3.3.

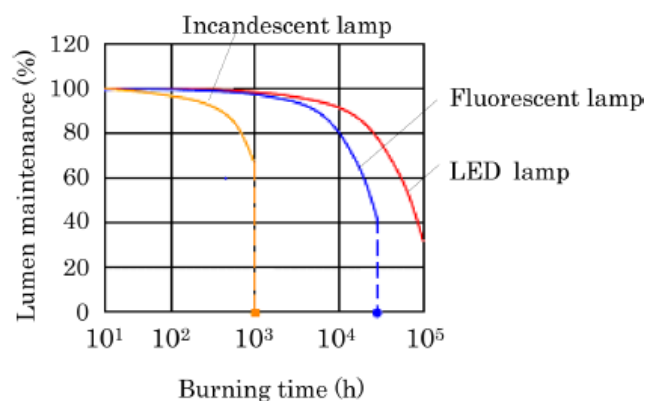


Fig. 3.3 - Lumens em função das horas de funcionamento. (Bessho & Shimizu, 2012)

### 3.2.4. Eficácia de aplicação e conclusões

A eficácia dos LEDs tem vindo a aumentar desde a sua introdução como fonte de iluminação. É esperada que esta tendência se mantenha graças ao investimento em novos materiais, melhores processos de fabrico e novas configurações. A eficácia de iluminação é um indicador bastante importante de eficiência energética, no entanto não é a única variável condicionante num sistema de iluminação (U.S. Department of Energy, 2013). Principalmente no que diz respeito a fontes de iluminação que emitem em várias direções. Devido à sua natureza direcional os LEDs têm maior potencial para fornecer uma maior eficácia de aplicação<sup>6</sup> que as restantes fontes de luz em determinadas aplicações de iluminação. As lâmpadas incandescentes e fluorescentes emitem luz em todas as direções, o que faz com que a maioria da luz produzida seja perdida na armadura, reabsorvida pela lâmpada ou mesmo que esta saia da armadura para uma direção que não é a adequada para a aplicação em que é pretendida. Em muitos tipos de armaduras é bastante comum que estas últimas tenham uma perda total de iluminação que pode variar entre os 40-50% mesmo antes de esta sair da armadura (U.S. Department of Energy, 2013). É por isso, fundamental, complementar o produto certo com a aplicação certa para que se atinja uma maior eficiência energética. Tal opção poderá ter um impacto idêntico ou superior à da escolha de tecnologia como fonte de iluminação.

<sup>5</sup> I.e., um material que tem condutividade elétrica com valor entre um condutor puro e um material isolante.

<sup>6</sup> A eficácia da aplicação denota a importância do *design* da armadura onde é inserida a lâmpada. A direccionalidade e intensidade da fonte de iluminação podem resultar numa maior eficácia de aplicação mesmo que a sua eficácia de iluminação seja inferior (U.S. Department of Energy, 2013).



Fig. 3.4 - Ilustração de Eficácia da Aplicação. (U.S. Department of Energy, 2009)

Em conclusão, o tempo de vida de um LED depende fortemente do seu *design*, dos materiais utilizados na sua construção, das condições de aquecimento e outros fatores. A maioria dos componentes degrada-se essencialmente pelo aumento de temperatura, sendo este um dos fatores mais preponderantes no tempo de vida útil do dispositivo. É possível no entanto afirmar que a utilização correta da tecnologia LED permite aumentar a qualidade de iluminação dos espaços, reduzir os impactos ambientais e produzir benefícios económicos. Estes benefícios estão, no entanto, dependentes da sua aplicação adequada e da escolha certa dos diferentes componentes do sistema, como é o caso das armaduras e/ou candeeiros (U.S. Department of Energy, 2009).

### 3.3. Sistemas Solares Fotovoltaicos

Segundo (Luque & Hegedus, 2011), existem dezenas de tipos de sistemas de uso final de energia solar fotovoltaica (PV), comportando uma variedade de complexidades. Os sistemas *On-Grid* em comparação com os sistemas *Off-Grid* compartilham certos aspetos funcionais, no entanto estes servem necessidades bastante distintas. Por exemplo, ambos os sistemas podem utilizar a mesma tecnologia de módulos, ser instalados da mesma forma, funcionar com o mesmo clima e fornecer as mesmas quantidades de energia em corrente contínua (DC) a um cliente hipotético. Um sistema do tipo *On-Grid* será certamente menos dispendioso, por kW, a instalar e manter, e o seu funcionamento será mais eficiente que a de um sistema *Off-Grid*. Muito usualmente os sistemas *Off-Grid* tornam-se viáveis em locais remotos, em que o investimento no prolongamento do serviço de fornecimento de energia da rede é bastante elevado. Nesses casos, e independentemente do seu alto custo e menor eficiência de funcionamento, os sistemas PV *Off-Grid* são a melhor solução face às opções tradicionais, por exemplo de queima de combustíveis fósseis.

Os sistemas designados *On-Grid* são aqueles cuja energia produzida pelos módulos PV<sup>7</sup> é convertida em corrente alternada (AC). Esta energia pode ser posteriormente utilizada numa determinada carga de um determinado sistema ou ser injetada na rede elétrica de serviço público (RESP). Em ambos os casos a energia produzida pelos módulos PV é convertida em AC recorrendo-se a inversor (que será descrito com maior detalhe na Secção 3.3.2). No caso de esta ser distribuída pela RESP, e tal como se procede numa central de produção de energia, com

<sup>7</sup> Os módulos PV produzem energia em corrente contínua (DC).

corrente AC, a energia tem que ser sincronizada com os parâmetros de tensão e frequência da rede<sup>8</sup>.

### 3.3.1. Funcionamento adequado do sistema PV

É descrito em (Luque & Hegedus, 2011) que um sistema PV eficaz é um sistema que demonstre, ao longo do seu funcionamento, uma boa performance, segurança e fiabilidade. A performance destes sistemas pode ser medida pela quantidade de energia que este produz e/ou pela satisfação das perspetivas financeiras com que este foi projetado. Num sistema ligado à rede a sua medida de sucesso é feita com base na entrega máxima do sistema face às condições locais em que este se encontra. É necessário que o estudo de dimensionamento, a sua instalação e manutenção sejam as mais adequadas, sendo estas as condições com maior responsabilidade na performance do sistema.

Como foi referido, um sistema PV deve estar de acordo com os códigos e parâmetros elétricos locais estabelecidos. Todos os seus componentes devem estar certificados e ser reconhecidos internacionalmente pelas normas de segurança existentes, garantindo que estes estão devidamente concebidos para evitar perigo de choque elétrico e criação de perigo de incêndio. A grande maioria dos sistemas PV recentes é concebido para durar, em plenas condições de funcionamento, cerca de 25 anos, no mínimo (Luque & Hegedus, 2011). À medida que o número de sistemas ligados à rede aumenta existe uma maior necessidade da sua fiabilidade, uma vez que a rede se torna cada vez mais dependente da sua energia, que não tem uma forma autónoma de compensar grandes perdas energéticas.

### 3.3.2. Principais componentes de um sistema On-grid

#### 3.3.2.1. *Coletores solares.*

De acordo com (Luque & Hegedus, 2011) as características técnicas que permitem identificar e distinguir diferentes tipos de módulos PV são as suas especificações físicas e elétricas. As suas principais características elétricas incluem a tensão em circuito aberto ( $V_{oc}$ ), a corrente de curto-circuito ( $I_{sc}$ ), os valores do ponto de corrente de máxima potência ( $I_{mpp}$ ) e ponto de tensão de máxima potência ( $V_{mpp}$ ), ou seja, aos valores de corrente e tensão correspondentes à máxima potência produzida pelo módulo. As variáveis físicas que caracterizam o sistema são as suas dimensões, peso, material da cobertura e requerimentos de montagem. Estas características têm um impacto direto na performance do sistema. Características como o seu aspeto e forma têm apenas impacto na integração do sistema num edifício.

#### 3.3.2.2. *Inversor de carga.*

Como foi referido anteriormente, existe a necessidade, independentemente do tipo de sistema *On-Grid*, de utilização de um, ou mais, inversor(es) de carga numa instalação solar PV. A principal função deste dispositivo é a conversão da energia produzida em DC, pelos módulos, em AC<sup>9</sup>. É necessário por isso que a escolha deste dispositivo seja feita com base na sua eficiência de conversão, já que esta condicionará a sua capacidade de distribuição de energia pelas diferentes cargas do edifício.

---

<sup>8</sup> No caso nacional o limite de tensão é de 220/230 V e o de frequência de 50/60 Hz.

<sup>9</sup> A maioria das aplicações elétricas, que constituem a carga do sistema, funciona com corrente AC, tal como é o caso das lâmpadas.



Para além da função já referida, os inversores têm ainda a função de garantir que os módulos PV estão sempre a funcionar nos níveis ótimos de potência. Dependente da temperatura, intensidade de irradiação<sup>10</sup>, existe sempre uma combinação de corrente e tensão, Equação (6), que permite uma otimização do sistema. Uma vez que estas condições estão constantemente em alteração (principalmente com a passagem de nuvens) o inversor deve garantir e monitorizar constantemente os Pontos de Potência Máxima (MPP) para garantir que o sistema PV está a fornecer o valor máximo de potência, possível, em cada instante (SMA Solar Technology, 2012).

Os inversores garantem ainda, no caso de se tratar de um sistema conectado à rede elétrica nacional, o suporte e a segurança da rede consoante as suas necessidades específicas. O inversor faz a monitorização constante da distribuição de potência à rede, limitando os valores de tensão e frequência fornecidos pelo sistema, e caso estes ultrapassem os valores estipulados pela rede o sistema é automaticamente desconectado da mesma. No entanto, se apenas houver um pequeno aumento da frequência produzida pelos módulos o inversor fará uma redução de potência, adequada, para garantir que as especificações da rede são cumpridas (SMA Solar Technology, 2012).

#### 3.3.2.3. *Arranjo dos coletores.*

As possibilidades de instalação e arranjo dos coletores são vastas. No entanto a sua instalação adequada é crucial para a obtenção do rendimento antecipado no dimensionamento realizado. O arranjo dos coletores deve ser feito de acordo com o inversor escolhido. Os limites do inversor terão que corresponder aos valores de  $V_{mpp}$  correspondentes à máxima e mínimas temperaturas de operação dos módulos PV. É necessário, por isso, ter em conta a relação de aceitação máxima de potência em DC do inversor com a potência pico (Secção 3.3.4) produzida pelo arranjo dos coletores (Luque & Hegedus, 2011).

#### 3.3.2.4. *Estrutura.*

Em (Luque & Hegedus, 2011) são descritos diversos tipos de estruturas de suporte para os módulos PV. Estas podem variar consoante a sua aplicação, isto é, caso se pretenda montar o sistema no chão (utilização padrão), numa fachada ou no topo de um telhado. A grande maioria das coberturas dos armazéns e edifícios de comércio são planos, apesar de não serem normalmente concebidos para suportar grandes quantidades de peso morto. Uma boa solução passa pela utilização, caso a estrutura da cobertura do edifício o permita, de estruturas concebidas para utilização padrão por cima da cobertura do edifício, reduzindo de certa forma os custos face às estruturas em elevação. As estruturas podem ainda ser fixas ou de seguimento solar, sendo que estas últimas são de uma construção mais complexa e apresentam custos de montagem mais elevados, mas que no entanto acabam por ser compensados pela maior capacidade de captação solar.

### 3.3.3. Principais considerações no dimensionamento PV

Antes de iniciar o dimensionamento de um sistema PV deve ser feita uma análise do local para garantir que o sistema reúne as condições necessárias para satisfazer as necessidades do utilizador final em termos de carga, objetivo da utilização e clima (Luque & Hegedus, 2011). É necessário conhecer bem o local da instalação do sistema. A sua latitude e longitude definem o ângulo de incidência solar nos diferentes períodos do ano bem como o seu número de horas solares diárias. A quantidade de irradiação solar do local é, em conjunto com as restantes

---

<sup>10</sup> Que representa a quantidade de radiação solar recebida por unidade de área, usualmente dada em  $W/m^2$ .

características, uma variável de extrema importância na determinação do potencial do recurso solar no local. Segundo (Markvart & Castañer, 2003) é necessário escolher uma fonte de dados climáticos adequada ao clima do local ou, caso seja possível, os seus dados anuais reais. A produção anual do sistema pode ser reduzida, em função da temperatura de operação dos módulos, em cerca de 2 a 10% segundo alguma literatura, dependendo do tipo de módulo, da velocidade do vento, da técnica de montagem utilizada e da temperatura ambiente.

A orientação e inclinação dos coletores do sistema têm um impacto direto na quantidade de energia que o sistema PV conseguirá captar, pelo que existem algumas regras gerais quando se designam estes parâmetros num sistema fixo. Teoricamente, a orientação ótima é a sul e a inclinação ótima igual à latitude do local. No entanto deverá ser feita uma otimização da inclinação para o período de inverno (menor produção), sendo por isso necessário somar cerca de 10° à inclinação dos coletores (valor explicado mais à frente na Secção 5.1.1). É necessário ter ainda um especial cuidado com os sombreamentos existentes no local. Um sombreamento de 5 a 10% de uma série de coletores pode prejudicar a produção final de energia em cerca de 80% segundo alguma literatura (Luque & Hegedus, 2011). Para minimizar essas perdas deve ser feita uma vistoria ao local para se perceber se existe sombreamento durante algum período do dia. O sombreamento pode ser causado tanto por obstruções perto do local da instalação, como outros edifícios ou telheiros, ou por montanhas no horizonte. A poeira, queda de folhas, neve e gelo devem ainda ser consideradas como fatores de redução de energia produzida pelo sistema, e em casos extremos devem ser considerados períodos faseados de lavagem dos módulos sob o risco de reduzir a sua produção em quantidades bastante consideráveis.

O conhecimento do padrão de consumo das cargas do edifício é bastante útil quando se quer dimensionar um sistema PV nas condições ótimas. Esta informação não é relevante num sistema de alimentação à rede, no entanto torna-se vital para os restantes tipos de sistemas *On-Grid* e *Off-Grid*, dado que se pretende que estes suprimam uma determinada quantidade de energia ao longo do dia.

### 3.3.4. Horas Pico Solares e Watt Pico

A primeira análise e *design* de um sistema PV são tipicamente baseados nas Horas Pico Solares (PSH) do local. Este conceito é particularmente útil no dimensionamento de conjuntos de módulos que irão operar a uma determinada irradiância solar. O valor de PSH corresponde ao período equivalente, em horas, que um determinado sistema PV estará exposto a uma irradiância, constante, igual à intensidade de um sol ( $1 \text{ kW/m}^2$ ) (Markvart & Castañer, 2003).

Tal como é explicado em (Luque & Hegedus, 2011), a potência de um gerador a *diesel*, por exemplo, é avaliada na unidade de Watt. Significando que este foi desenhado para produzir durante a sua operação esse determinado nível de potência de forma contínua, enquanto tiver combustível, e que será capaz de dissipar o calor produzido durante essa operação. Caso seja forçado a operar a uma potência superior aquela para a qual foi avaliado gastará mais combustível e sofrerá um maior desgaste, tendo por isso um menor período de vida. Os módulos PV são, por sua vez, avaliados em termos de potência Watt Pico ( $W_p$ ). Esta unidade representa a potência que o módulo entrega a uma determinada carga quando se encontra iluminado por um valor correspondente a um sol de irradiância, de um espectro solar *standard* (AM 1.5) e a uma temperatura das células de 25°C. Um conjunto de módulos em série é avaliado em função dos Watts Pico de todos os módulos que o constituem. Esta unidade permite adequar a produção do sistema PV às condições locais em que o sistema se insere.

Para que hajam previsões fidedignas da produção de um sistema PV, a sua energia produzida em Watt-hora (Wh) é dada pela multiplicação da sua potência  $W_p$  pelo número de horas efetivo, ou PSH, de irradiância incidente no coletor num determinado período de tempo (anual, mensal, diário, etc.) e por um determinado *Performance Ratio* (PR), isto é, a uma determinada relação entre a quantidade de energia incidente no coletor por metro quadrado e aquela que é realmente convertida em energia elétrica para uso final (Luque & Hegedus, 2011).

### 3.4. Sistemas de Climatização

O termo de ar-condicionado é muitas vezes utilizado no sentido restrito de arrefecimento, no entanto, no seu verdadeiro significado está implícito um condicionamento do ar ao nível de calor, frio, humidade, desumidificação e limpeza desejados (Çengel, 2007). O objetivo de um sistema de ar-condicionado de um edifício é o de estabelecer o completo conforto térmico dos seus ocupantes, e como tal é necessário ter em conta alguns aspetos importantes quando se pensa no dimensionamento de um sistema que seja eficaz.

Segundo (Çengel, 2007), o conforto do corpo humano depende essencialmente de três fatores, a temperatura, a humidade relativa e o movimento de ar. No entanto, a temperatura ambiente, por si só, constitui a condição mais importante para se atingir o conforto. Foi estudado que, para taxas metabólicas de descanso ou trabalho leve, e para pessoas vestidas conforme o adequado, a temperatura de operação (aproximadamente uma média entre a temperatura média do ar e das superfícies circundantes) pode variar entre os 23 e os 27°C. A humidade relativa (HR) é também um fator a ter em consideração, uma vez que esta é uma medida da capacidade que o ar tem para absorver vapor, tendo por isso um efeito direto na quantidade de calor que um corpo pode dissipar por evaporação. O nível desejado de HR pode variar entre os 30 e os 70%, no entanto a percentagem mais adequada é a de 50%. A maioria das pessoas, nestas condições, não sente nem calor nem frio, e o seu corpo não necessita de ativar quaisquer mecanismos de defesa (tais como transpiração ou arrepios) para manter a temperatura corporal no seu nível normal. É necessário referir que nenhum ambiente térmico poderá satisfazer todas as pessoas. Independentemente das condições criadas, existirão sempre pessoas a sentir algum desconforto, sendo que qualquer ambiente térmico é baseado numa taxa de aceitação de 90%.

A ventilação do espaço é também um fator que afeta o conforto térmico. O fornecimento de ar novo (fresco) a um edifício pode ser feito de forma natural ou forçada (através de um sistema mecânico de ventilação). No primeiro caso a ventilação necessária para o espaço é fornecida através de fissuras e brechas de janelas e portas ou pela sua abertura. A ventilação adicional depende de mecanismos de ventilação como exaustores e condutas de ar. O sobredimensionamento desta vertente do sistema, para garantir o fornecimento de ar de forma segura, nunca é uma boa solução uma vez que a ventilação mecânica muitas vezes transporta ar aquecido ou arrefecido, tornando-se por isso num desperdício de energia.

#### 3.4.1. Dimensionamento do Sistema de Climatização

O dimensionamento de um sistema de climatização é determinado pelas condições interiores pretendidas, e que devem ser mantidas baseadas nas condições exteriores que possam existir nesse local. As condições de temperatura, humidade e ventilação referidas constituem as condições interiores do dimensionamento, e que se devem manter relativamente constantes em todos os sistemas de climatização. As condições para as quais o sistema de climatização deve ter capacidade de manter as condições interiores típicas são denominadas as condições exteriores de dimensionamento.

Segundo (Çengel, 2007) quando se pretende dimensionar um sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado (AVAC), usualmente, o primeiro instinto seria o de dimensionar um sistema suficientemente grande para que sejam mantidas as condições interiores padrão nas condições mais adversas registadas no local, no período de Inverno e Verão. No entanto, um sistema AVAC com estas características estaria sobredimensionado, tendo por isso um custo inicial mais elevado, ocupando mais espaço e tendo provavelmente um custo de operação superior, já que o sistema estaria apenas em funcionamento parcial, logo a menor eficiência. É por isso necessário dimensionar o sistema com base numa boa relação entre economia e o conforto. Uma grande parte dos compradores de sistemas de AVAC não se importaria de passar por uma situação de algum desconforto num período de condições atmosféricas mais extremas, que são poucas ao longo do ano, caso isso significasse um menor custo do sistema. É necessário

prever as condições atmosféricas do futuro com base em informações reais e recentes para que se possam determinar as necessidades do espaço a climatizar.

Em (Davies, 2004) é referido que as perdas de calor num edifício dependem da temperatura do ambiente em que este se encontra inserido,  $T_{atm}$ , que pode ser registada continuamente mas é utilizada, com muita frequência, como um valor médio ao longo do período de uma hora. São no entanto necessários valores de  $T_{atm}$  registadas ao longo de vários meses para que se possam obter estimativas assertivas da quantidade de energia necessária para aquecimento nas estações de frio e para arrefecimento nas estações de calor. A partir dos valores horários podem ser obtidos valores médios diários ou mensais de  $T_{atm}$ , que são utilizados para dimensionar as necessidades de climatização de um determinado edifício em grande escala.

### 3.4.2. Condições de Aquecimento e Arrefecimento

As cargas de aquecimento ou arrefecimento de um edifício representam a quantidade de calor que tem que ser fornecida ou removida, respetivamente, do seu interior para o manter nas condições desejadas. Deve ser feita uma distinção entre carga de dimensionamento, determinada pela análise das condições em estado estacionário, e a carga real do edifício, determinada com base na carga real de aquecimento ou arrefecimento, que varia ao longo do dia e cujo cálculo pode ser bastante complexo (Çengel, 2007).

Segundo (ASHRAE, 2009), no dimensionamento da carga de um sistema de ar-condicionado, em condições estacionárias, é necessário ter em conta os ganhos e as perdas de calor do espaço, que podem variar com o tempo e estão dependentes da temperatura ambiente do local (considerando condições interiores constantes), e que correspondem à taxa de calor instantânea que entra e/ou é gerada dentro do espaço. Estes ganhos podem ser classificados pelo seu modo de entrada no edifício ou por serem sensíveis ou latentes. As diferentes formas de entrada de calor no edifício passam por/pela: (a) entrada da radiação solar por superfícies transparentes,  $Q_s$ ; (b) condução de calor através de paredes exteriores, telhados, pavimento e partições interiores,  $Q_t$ ; (c) calor gerado pelos ocupantes do espaço, iluminação e alguns dispositivos,  $Q_{is}$ ; (d) energia transferida através da ventilação ou infiltração de ar exterior,  $Q_v$ .

### 3.4.3. Escolha do Sistema AVAC

Quando se pretende escolher um sistema AVAC é necessário identificar e priorizar critérios que estejam associados ao objetivo do dimensionamento. É recomendável, ainda (e caso seja necessária a pré-construção de serviços) que se consulte o/um responsável de obras para que se possam determinar quais as soluções válidas, do ponto de vista da engenharia, de construção.

Em (ASHRAE, 2008), é referenciado que para além das condições relacionadas com o conforto dos ocupantes, já referidas, é necessário ter em conta a sua rentabilidade, fiabilidade, flexibilidade, custo de operação e manutenção e ainda o seu custo inicial do sistema. Do ponto de vista do "cliente" as principais preocupações incidem principalmente na comparação entre o custo de operação e o custo inicial do sistema, os efeitos da sua paragem, a frequência de manutenção e se é necessária uma intrusão no espaço para a sua montagem. Cada uma destas condições poderá ter uma prioridade diferente, dependente das preocupações do comprador do sistema. Os condicionamentos do sistema estão relacionados, essencialmente, com as suas limitações de performance (por exemplo, temperatura, humidade), a capacidade e espaço disponíveis no edifício, a existência das infraestruturas adequadas para a instalação do sistema ou mesmo a arquitetura do edifício (ASHRAE, 2008). Para além destes, os condicionamentos de construção do sistema poderão ter um impacto bastante significativo no sucesso da instalação do sistema e não devem ser ignorados na sua fase de dimensionamento. É necessário ter em conta fatores como o tempo de construção, a disponibilidade do equipamento, o orçamento e se existe a possibilidade de manter a ocupação e o funcionamento normal do edifício durante a instalação e manutenção do sistema. Independentemente da eficiência a que um sistema em

particular funciona ou a quão económica foi a sua instalação, este só pode ser considerado se mantiver as condições desejadas no interior do edifício (dentro de um certo fator de aceitação) e se este não for censurável (por não se enquadrar na arquitetura do edifício, por exemplo) por quem o utiliza/ocupa (ASHRAE, 2005).

Para que haja um consumo de energia sustentável do sistema é necessário que os operadores ou responsáveis pelo edifício tenham o conhecimento adequado para operar e manter, com eficiência e eficácia, todos os sistemas do edifício. O dimensionamento de um sistema de AVAC só está terminado após a avaliação contínua do sistema ao longo de vários anos depois da sua seleção, análise, instalação e entrega ao gestor do edifício (ASHRAE, 2008).

#### 3.4.3.1. COP e EER

O *coefficient of performance* (COP) é usualmente o coeficiente que define a eficiência de dispositivos que operam em ciclos ou de componentes individuais que operam no processo. O termo COP costuma ser reservado aos sistemas de refrigeração. A eficiência térmica de um motor cíclico é dada pelo rácio entre a quantidade de calor obtida pela quantidade de energia elétrica consumida, e é utilizado para designar a performance de aquecimento do equipamento (Petchers, 2003). Por outro lado, o *energy efficiency ratio* (EER) é o coeficiente que define a performance de arrefecimento.

Quanto maior for o COP/EER de um determinado sistema, melhor será a sua performance. Sistemas com COP/EER elevados produzem uma maior quantidade de calor/frio consumindo uma menor quantidade de energia de entrada.

### 3.5. Programas de Efeito Comportamental

O comportamento energético poderá ser um investimento ou apenas um comportamento habitual. Um investimento implica a adoção de nova tecnologia, ou a compra de uma nova aplicação. O comportamento habitual é apenas uma rotina, tal como desligar as luzes quando se sai de uma sala. Mudanças no comportamento do consumidor podem implicar poupanças bastante relevantes do uso de energia. É necessário por isso aproveitar o seu potencial ao máximo, sem ser necessário realizar qualquer tipo de investimento económico. Boas práticas, conjugadas com melhorias de eficácia, constituem tempos de retorno nulos.

Têm vindo a ser criados alguns programas com vista à alteração comportamental dos consumidores de energia na Europa. Um excelente exemplo foi o programa "*BEHAVE*" (Intelligent Energy, 2009), criado pela "*Intelligent Energy Europe*" (IEE), cujo principal objetivo foi retirar e reunir informações de quarenta e um programas comportamentais Europeus distintos e providenciar um conjunto de linhas base e de medidas para a criação de programas de alteração de comportamentos (Capítulo 5.3.3), realçando assim a importância das boas práticas e do seu desenvolvimento e implementação com sucesso.

Segundo o programa *BEHAVE* (Intelligent Energy, 2009) as políticas relacionadas com características comportamentais devem derivar de uma série de aspetos que motivem os consumidores, para que desenvolvam um sentido de responsabilidade, de conhecimento e reconhecimento de um problema atual, e existente na sociedade relacionado com o consumo exaustivo de energia. A criação de um programa energético deve fomentar no consumidor um desejo de melhoria e uma sensação compromisso face à ideia de que cada pessoa (consumidor) desempenha um papel bastante importante na redução da procura de energia, dando-lhe reconhecimento, como indivíduo, e incentivando-o a desenvolver o seu comportamento de forma a torná-lo um hábito. É reconhecido que é fundamental e necessário que este tipo de programas comportamentais seja distanciados da ideia de que se trata de uma campanha publicitária, ou com quaisquer outras segundas intenções comerciais, sob o risco de motivar o desinteresse no seu cumprimento.

### **3.5.1. Recomendações para a Criação de Programas**

Tal como foi referido o programa *BEHAVE* (Intelligent Energy, 2009) recolheu as informações de quarenta e um casos, cada um representativo de um programa de alteração comportamental implementado na Europa. Todos os casos foram analisados para que se retirassem informações nos cinco estados da criação do programa: o contexto (pré-planeamento), o planeamento, a implementação e a avaliação (vistos em mais detalhe no Capítulo 5.3.3).

A recolha de informação permitiu que se identificassem alguns aspetos que devem ser desenvolvidos e tidos em conta na criação e implementação de um projeto ou programa comportamental. Segundo o estudo realizado, muitos dos programas analisados apresentavam a carência de uma base teórica, tornando difícil o seu sucesso e a determinação do cumprimento dos seus objetivos. Para além disso, muitos dos programas demonstraram a necessidade de um melhor planeamento e modelo de avaliação, que são essenciais para desenvolver e implementar este tipo de programas com sucesso. Muitos dos programas não foram baseados numa boa análise prévia da situação nem dos fatores que determinam se as alterações de comportamento podem realmente ocorrer.

### **3.5.2. Grupo Alvo do Programa**

Em (Intelligent Energy, 2009) é escrito que o grupo alvo do programa comportamental deve estar bastante bem definido, caso contrário será impossível determinar, adequadamente, quais as atividades que podem estabelecer uma determinada alteração de um determinado comportamento. Segundo o estudo realizado a escolha de um programa generalista nem sempre permite atingir o resultado pretendido. A monitorização destas atividades deve ainda ser planeada e definida no início do programa, deixando clarificado quais os indicadores de impacto utilizados para a avaliação do programa e a sua forma de medição.

Quando se introduzem novos regulamentos ou tecnologias devem ser, também, realizadas atividades de alteração comportamental. Nenhuma destas duas aproximações funciona adequadamente em separado, deve ser por isso considerada uma aproximação mista em que sejam considerados diversos instrumentos, sejam estes legislativos, comunicativos ou infraestruturais, quando se pretende introduzir uma nova política.

## 4. Planeamento Energético, Provida

A Provida foi fundada em 1984, tendo a sua sede situada em Raposeiras, Mem Martins, concelho de Sintra, e conta atualmente com cerca de sessenta colaboradores, distribuídos pelos mais diversos setores da empresa. A sua área de negócios está essencialmente focada na venda e distribuição de três tipos de produtos: naturais, biológicos e macrobióticos. O seu principal objetivo foca-se essencialmente em fornecer produtos que permitam uma alimentação mais saudável e que possam contribuir, assim, para uma melhor qualidade de vida do consumidor. A empresa conta, neste momento, com seiscentos pontos de venda em todo o país, o que é de certa forma representativo da sua dimensão neste nicho de negócio. A empresa, neste momento, não faz quaisquer distribuições para o estrangeiro.

As suas instalações têm uma área total de cerca de 1375 m<sup>2</sup>. O edifício da Provida (Fig. 4.1) é constituído por dois espaços adjacentes, um armazém, com cerca de 1125 m<sup>2</sup>, na zona sul do edifício, e uma fração autónoma de escritórios, com cerca de 250 m<sup>2</sup>, na zona norte.

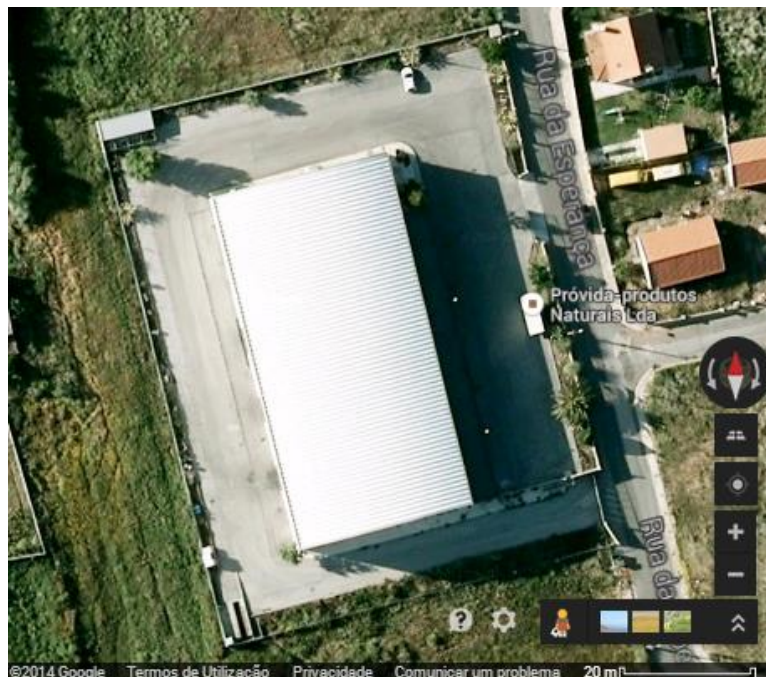


Fig. 4.1 - Instalações da Provida. (Fonte: Google Maps)

### 4.1. Análise Prévia à Instalação

No início de fevereiro de 2014 foi feita uma abordagem à Provida por parte da Blastingfm<sup>1</sup>. Tendo-se constatado que as suas instalações estariam a consumir uma quantidade bastante elevada de energia elétrica. Verificou-se, da mesma forma, que existiam alguns problemas com a operação de alguma maquinaria, que consome uma quantidade elevada de potência no seu arranque e funcionamento. Tendo em conta o verificado, existia, na altura, uma

---

<sup>1</sup> A Blastingfm é uma empresa de consultoria de Energia e Ambiente em empresas, indústria, particulares, hotéis e restauração situada na zona de Lisboa. A empresa foi a principal responsável pela realização deste projeto.

vontade por parte da Provida de se fazer um aumento de potência nas suas instalações, que conta com uma potência instalada de 27,6 kVA.

Após uma primeira análise por parte da Blastingfm, *in loco*, foi verificado um enorme potencial para a redução do consumo de energia nas instalações, pelo que foi prontamente negada a necessidade de aumento de potência contratada pela empresa. E foi nesse sentido que foi feita uma primeira proposta de MRCE à direção da Provida – que será desenvolvida adiante – baseada na substituição de equipamento consumidor de energia, sendo que o parâmetro decisivo para a aceitação dessa medida por parte da empresa foi o facto do retorno do investimento ser, teoricamente, bastante inferior à garantia (de dois anos) do equipamento substituído.

## **4.2. Avaliação Preliminar**

No seguimento das conclusões obtidas, e apresentadas anteriormente, foi realizada uma avaliação energética às instalações da Provida, tendo sido feita, posteriormente, uma proposta de aumento de eficiência energética. Um dos principais objetivos desta proposta seria associar a implementação de uma MRCE a um estudo de eficiência energética mais detalhado das instalações da empresa, juntamente com a posterior divulgação dos resultados obtidos. Dessa forma, pretende-se demonstrar o potencial existente nas mais variadas soluções que visam a diminuição do consumo de energia elétrica num edifício de indústria, como é o caso. É de facto essencial perceber-se que este tipo de decisões, do lado da empresa a ser auditada, são puramente financeiras e que na maioria dos casos tem um retorno mais rápido do que aquele que seria expectável.

Será desta forma apresentada, neste capítulo, aquela que poderá ser considerada como a primeira fase da intervenção, e que diz respeito a uma MRCE através da substituição de grande parte da iluminação, ineficiente, existente no edifício. Verificou-se, durante a visita técnica realizada à empresa, um enorme potencial de poupança deste consumo em particular. Esta medida de eficiência energética encontra-se dentro das medidas propostas pelo PNAEE 2016, apresentadas na Tabela 2.2 da Secção 2.3.1 deste documento, no âmbito da iluminação eficiente.

### **4.2.1. Planeamento Inicial**

Durante a primeira visita às instalações da Provida verificou-se uma abundante utilização de lâmpadas fluorescentes em todo o edifício, o que juntamente com a utilização e arrancadores e balastros – explicados com mais detalhe na Secção 4.3 – acabam por constituir algum do consumo excessivo, referente à iluminação, do espaço. Como forma de reverter este problema foi proposta de imediato uma substituição por lâmpadas LED, que tendo em conta as suas características de otimização constituiriam uma melhoria bastante significativa no uso de energia elétrica da empresa. A decisão da utilização de lâmpadas de tecnologia LED foi tomada devido à premissa de um prolongamento muito considerável do tempo de vida útil do equipamento que, como foi referido na revisão de literatura, poderá atingir as cerca de 30.000 horas – o que, segundo o fornecedor, se verifica.

Foi feita uma contagem do número de lâmpadas constituintes do sistema, Tabela 4.1, para que se pudesse obter uma estimativa de qual seria o nível de poupança atingido com a renovação do sistema, e consequentemente do tempo de retorno expectável do investimento. Além da já referida alteração de lâmpadas também foi feita uma alteração às armaduras existentes, uma vez que estas se encontravam de certa forma degradadas pelo calor produzido durante o constante funcionamento das luminárias.



Tabela 4.1 - Número e tipo de lâmpadas constituintes do sistema.

Tipo de lâmpada	Unidades
T8 150 cm	10
T8 120 cm	132
Projetores 30W - exterior	6
Campânula 30W - armazém	2

#### 4.2.1.1. Características do sistema de iluminação LED

Em (Fraytag, et al., 2010) é referida a importância que as fontes de iluminação artificiais têm na criação de condições necessárias para uma boa visibilidade dos seres humanos. No entanto, o *design* de sistemas de iluminação, e os planos de eficiência energética são usualmente feitos apenas com perspetiva nos índices de iluminação, eficiência energética e eficácia luminica - Lúmen/Watt. A utilização de lâmpadas adequadas para um ambiente, em particular, pode contribuir para uma maior eficiência e sensibilidade visual, que está relacionada com a perceção de cor e a rapidez e precisão necessárias para a realização de tarefas.

Um dos principais objetivos da intervenção proposta foi não prejudicar quaisquer condições de trabalho, e se possível melhorar as condições existentes. Como tal optou-se pela utilização de lâmpadas com uma temperatura de cor entre os 5.000 a 7.000K (branco frio), que como foi já referido anteriormente é correspondente a LEDs com maiores eficácias de iluminação, eliminando ainda qualquer tipo de impacto visual negativo na substituição de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED.

#### 4.2.2. Plano de Ação

Foi feita uma proposta em que se calcularam valores estimados de custo de operação, período de vida útil e consumo de potência do equipamento de iluminação antes e após as alterações. É necessário referir que os cálculos foram feitos com base nos valores de consumo de potência fornecidos pelo fornecedor, que nem sempre correspondem aos valores reais obtidos, mas que são uma aproximação aceitável. Para além disso, foi admitido um período de funcionamento máximo da iluminação de cerca de doze horas.

Como forma de simplificação não foram considerados os consumos de potência associados aos balastros e arrancadores existentes no sistema, como se irá verificar mais à frente, uma vez que estes acabam por ser difíceis de quantificar dada a sua variabilidade<sup>2</sup> de funcionamento. Foram utilizadas as Equações (1) e (2) para calcular, respetivamente, a energia elétrica anual consumida pelo sistema e os seus custos de utilização anual antes (com lâmpadas fluorescentes) e após (com lâmpadas LED) a substituição das luminárias, apresentados na Tabela 4.2.

$$Energia = Potência \times tempo \quad (1)$$

$$Custo = Energia \times tarifa \quad (2)$$

<sup>2</sup> A sua utilização está dependente do número de vezes que o sistema de iluminação é desligado/ligado.

Na Equação (1) a variável "Energia" corresponde à energia elétrica (anual, mensal, diária, etc.) consumida em Watt-hora (Wh), "Potência" à potência em Watt (W) do equipamento e "tempo" ao tempo de funcionamento de um determinado equipamento/sistema em horas. Na Equação (2) a variável "Custo" corresponde ao custo da energia consumida pelo equipamento em € e "tarifa" ao custo da eletricidade por unidade de energia em €/Wh. A poupança prevista pela substituição do sistema foi calculada pela diferença entre o custo de utilização da tecnologia LED e o custo de utilização da tecnologia Fluorescente, assumindo-se um período de funcionamento constante do sistema, Tabela 4.3.

Tabela 4.2 - Potência e estimativa de custo de utilização.

Lâmpada	Potencia Instalada [W]						Custo Utilização Anual [€]	
	Fluorescente	LED	Qnt.	Horas <sup>(1)</sup>	Dias <sup>(2)</sup>	Meses	Fluorescente	LED
T8 150 (escritório)	70	23	10	12	22	12	311,57	102,37
T8 120 (escritório)	46	18	22	12	22	12	450,45	176,26
T8 120 (armazém)	46	18	110	12	22	12	2252,23	881,31
Campânulas	500	30	2	3	22	12	111,28	6,68
Projetores	500	30	6	5	22	12	556,38	33,38

<sup>(1)</sup> Considerando o número de horas máximo de funcionamento da empresa.

<sup>(2)</sup> Considerados apenas os dias úteis.

Tabela 4.3 - Estimativa do custo de utilização total e da poupança anuais.

	Fluorescente	LED
Custo Total de Utilização Anual Previsto (€)	3.681,9	1.200,0
Poupança Prevista (€)	2.481,9	

Em termos de estimativa foi considerada uma tarifa média diária de compra de eletricidade de 0,1405 €/kWh, correspondente à tarifa do mercado regulado. Foi também assumido um período de doze horas de funcionamento da iluminação no edifício (correspondente ao número de horas máximo de funcionamento da empresa). Previu-se dessa forma uma poupança anual estimada em cerca de 2.500€ com a implementação da MRCE. Por motivos de confidencialidade, por parte da Blastingfm e do fornecedor, não serão revelados os valores da transação do material, no entanto é possível afirmar que esta alteração terá um período de retorno nunca superior a 2 anos.

Tendo em conta as horas de funcionamento de cada um dos equipamentos apresentados na tabela anterior foi ainda apresentado o seu período de vida útil, Equação (3), em anos, caso este se comporte segundo as características dadas pelo fornecedor – as já referidas 30.000 h. E, em termo de comparação, será também apresentado neste documento o tempo de vida útil do equipamento caso este tenha uma duração de vida útil de 50.000 h - período referenciado também na revisão de literatura, Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Anos de vida, espectáveis, do equipamento.

	Horas de funcionamento diário	Anos de vida LED (30.000 h)	Anos de vida LED (50.000 h)
T8 150 (escritório)	12	9,5	15,8
T8 120 (escritório)	12	9,5	15,8
T8 120 (armazém)	12	9,5	15,8
Campânulas	3	37,9	63,1
Projetores	5	22,7	37,9

$$Anos_{vida} = \frac{h_{vida, \acute{u}til}}{h_{uso, anuais}} \quad (3)$$

Em que " $h_{vida, \acute{u}til}$ " corresponde ao número horas de vida útil do equipamento, obtidas junto do fornecedor, e " $h_{uso, anuais}$ " ao número horas de utilização do equipamento, esperadas, no período de um ano. Foi considerado, para todos os casos, um funcionamento constante ao longo dos vinte e dois dias úteis mensais e durante um período anual de trabalho de doze meses.

O número de horas de utilização do equipamento é um fator que condiciona a avaliação deste tipo de dispositivo. Verifica-se que as lâmpadas com um maior número de horas de utilização são as que apresentam um período de vida útil, em anos, mais baixo, como seria de se esperar. Ainda assim, e apesar do elevado número de horas de funcionamento considerado, prevê-se que no pior cenário – de 30.000 h de vida útil do equipamento –, e para um período de utilização elevado, o equipamento funcione adequadamente cerca de nove anos e meio, o que constitui um período bastante apelativo.

Foi estimada, da mesma forma, qual seria a potência instalada relacionada com a iluminação existente e com a utilização de lâmpadas do tipo LED. Para este cálculo utilizaram-se os consumos de potência de cada um dos diferentes dispositivos (Tabela 4.2), obtidos junto ao fornecedor, e tendo em conta o número de lâmpadas a serem substituídas. Obtiveram-se os seguintes resultados apresentados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Redução da potência instalada, esperada.

Potência instalada em Fluorescente [kW]	10,77
Potência instalada em LED [kW]	2,85
Diferença [kW]	7,93

Foi utilizada para este cálculo a Equação (4), em que " $P_j$ " corresponde à potência consumida pelo equipamento  $j$  em W, Tabela 4.2, e " $n_j$ " à quantidade de lâmpadas que consomem a potência  $P_j$ , Tabela 4.1.

$$P_{instalada} = \sum_j P_j \times n_j \quad (4)$$

Como se pode verificar pela Tabela 4.5 será de se esperar uma redução efetiva de potência instalada para iluminação que ronde os cerca de 7,93 kW, um valor que representa um corte bastante significativo na fatia de potência instalada para a iluminação do espaço.

### 4.2.3. Sustentabilidade Ambiental

A sustentabilidade ambiental é também um fator de grande importância e a ter em conta num projeto deste tipo, e a empresa Provida beneficiará com certeza com a implementação de medidas energéticas que se apoiem nesse fundamento. Como tal, foi explicado na proposta quais seriam os outros - mas não menos importantes - benefícios trazidos pelas alterações propostas.

A implementação das medidas referidas para a redução de energia acabariam por contribuir para uma diminuição do consumo de energia primária para a produção de energia elétrica, reduzindo desta forma a emissão de gases com efeito de estufa para a atmosfera. E citando a proposta realizada por parte da Blastngfm à empresa Provida, "ao diminuir-se o consumo de energia primária está-se a prolongar a sua utilização no futuro, e ao mesmo tempo, a cortar na dependência energética externa do país, o que é positivo do ponto de vista

económico. Ambientalmente, a redução da emissão de gases com efeito de estufa para a atmosfera é de grande importância na luta contra as alterações climáticas que tantos prejuízos causam a nível regional e global".

### 4.3. Resultados da Intervenção

O sistema encontrado na zona principal do armazém, onde se verificou um maior gasto energético em iluminação (Fig. 4.2), é composto por quatro frações idênticas, controláveis (*On/Off*) no quadro elétrico da empresa. Cada uma das frações é composta por nove armaduras com capacidade para duas luminárias cada, perfazendo um total de setenta e duas lâmpadas ( $4 \times 9 \times 2$ ) a serem substituídas só nesta zona do edifício.



Fig. 4.2 - Zona principal do armazém.

Durante as alterações que foram feitas à iluminação do armazém realizaram-se algumas medições de corrente numa das frações do sistema de iluminação referido (Secção 4.3.1), que permitiram de certa forma verificar as melhorias obtidas pela implementação das alterações no sistema.

#### 4.3.1. Medição com Lâmpadas Fluorescentes

O sistema de iluminação que existia na Provida era constituído por lâmpadas de tecnologia denominada fluorescente. Este tipo de lâmpadas apesar da sua alta eficácia de iluminação necessita de um "*boost*", ou arranque inicial, de corrente para que estas aqueçam e possam iniciar o seu funcionamento. Este arranque inicial, que requer um gasto extra de energia, é feito recorrendo aos denominados balastros e arrancadores que são essenciais no funcionamento deste tipo de sistemas, tendo ainda a função de limitar a corrente elétrica na lâmpada. Antes da substituição destas lâmpadas foi registada a sua amperagem, de ligação e em uso, onde foram obtidos os seguintes dados, Fig. 4.3 e Fig. 4.4. Os balastros podem ser do tipo ferromagnético ou eletrónico, sendo que com a utilização destes últimos se atingem poupanças na ordem dos 10% (Roisin, Deneyer, D'Herdt, Diga, & Eugene, 2006). Foi verificado, após a desmontagem e montagem das armaduras feita posteriormente, que estavam a ser utilizados balastros ferromagnéticos no edifício.



Fig. 4.3 - Corrente, em Ampere, utilizada no arranque do sistema de iluminação.



Fig. 4.4 - Corrente, em Ampere, necessária ao longo da utilização.

#### 4.3.2. Medição com Lâmpadas LED

Da mesma forma foram realizadas medições de corrente na mesma fração de luminárias mas após a sua substituição. Seriam de se esperar, como tal, menores amperagens com a utilização de lâmpadas LED, significando, nesse caso, menores gastos energéticos na utilização da iluminação, que ao manter as condições de luminosidade no local permite que se conclua ser mais eficiente.

No caso da tecnologia LED não existe a necessidade de um arranque inicial, o que por si só representa uma elevada poupança de energia. Além do já referido, este tipo de lâmpadas necessita de uma quantidade bastante inferior de corrente para o seu funcionamento, Fig. 4.5. Verificou-se ainda que apesar da diminuição de amperagem, e consequentemente potência, as lâmpadas com este tipo de tecnologia permitem manter e/ou melhorar as condições de iluminação do espaço, que como já foi referido foi uma das grandes prioridades do projeto.



Fig. 4.5 - Corrente, em Ampere, utilizada ao longo da utilização após as alterações.

Para além das medições efetuadas, foi verificado no local que o sistema de iluminação funciona cerca de onze horas diárias, um valor que excede numa hora aquele que foi admitido na proposta entregue à Provida. Ainda assim espera-se, pelos resultados obtidos, uma poupança de energia associada a esta MRCE que não se deverá afastar muito daquela que foi assumida na proposta realizada à empresa.

#### 4.4. Metodologias de Cálculo do Consumo Anual

Foram utilizadas diferentes metodologias para prever o consumo de energia elétrica associado à iluminação do edifício antes e após a implementação da MRCE, bem como para prever a poupança de energia anual esperada no período que se sucede à intervenção. Foram estas as seguintes:

- **Metodologia I - 2013**

A Metodologia I (Secção 4.5), que será utilizada no âmbito das entradas de planeamento, para determinação do uso de energia elétrica (em Wh) antes da intervenção na empresa, no ano de 2013, tal como sugerido no diagrama de processo de planeamento energético da ISO 50001, Fig. 2.6. Foi pedida à empresa auditada uma fatura de eletricidade do ano de 2013 para que se pudessem efetuar alguns cálculos de forma a prever o consumo no ano referido. Será apresentada nesta metodologia, e no âmbito da análise do uso e consumo estipulada na Norma Nacional, a análise da fatura de energia elétrica fornecida pela empresa, onde se encontra discriminada uma leitura do consumo, realizada pela Energias de Portugal (EDP), no ano de 2013, entre o dia 5 de setembro e o dia 4 de dezembro, correspondente a um período de faturação de 90 dias. Esta leitura servirá, posteriormente, como base da extrapolação do consumo anual de energia elétrica da empresa no ano de 2013.

- **Metodologia II - pós 2014**

A Metodologia II (Secção 4.6) insere-se no âmbito da previsão dos resultados obtidos pela intervenção na empresa, na medida em que serão utilizadas as medições realizadas no local antes e após a modificação do sistema de iluminação para se determinar a percentagem do consumo que foi reduzida com a introdução da MRCE.

Esta metodologia consistirá numa previsão do consumo anual, pós<sup>3</sup>-2014, sendo esta realizada com base na previsão do consumo elétrico no ano de 2013, calculada pela Metodologia I, em conjunto com o consumo de eletricidade previsto do sistema de iluminação antes e após a implementação da MRCE, realizado com base nas suas horas de funcionamento diário e nas medições de corrente realizadas ao sistema.

▪ **Metodologia III - pós 2014**

À semelhança da Metodologia II, a Metodologia III (Secção 4.7) consistirá no cálculo da previsão do consumo anual de energia elétrica na empresa para o período pós-2014. No entanto, esta enquadra-se no âmbito da identificação dos resultados obtidos pela intervenção na empresa. O cálculo terá como base a leitura realizada ao quadro elétrico da empresa, em Junho de 2014, durante um período de 7 dias. Esta leitura será a base da posterior extrapolação do consumo de energia elétrica anual na empresa.

Pretende-se com esta metodologia entender-se o real impacto das medidas aplicadas ao edifício, tendo como comparação a previsão do consumo anual de energia elétrica na empresa calculada pela Metodologia II.

▪ **Quadro Geral de Metodologias**

Tabela 4.6 - Quadro geral de metodologias.

	Metodologia		
	I	II	III
Âmbito	Consumo anual;	Consumo da iluminação; Consumo anual;	Consumo anual;
Ano de aplicação	2013	2013 e Pós-2014	Pós-2014
Erro Associado	Secção 4.5.1	Secção 4.6.3	Secção 4.7.2

<sup>(1)</sup> Todos os consumos são referentes a energia elétrica (Wh).

#### 4.5. Metodologia I, Leitura de 2013

Apesar do erro<sup>4</sup> associado, devido à variabilidade do consumo nos diferentes meses do ano, será considerada, em termos de previsão do consumo anual de eletricidade da empresa, a leitura do contador realizada pela EDP e discriminada na fatura que foi fornecida pela Provida. Através da sua análise obtiveram-se os seguintes valores de consumo, para os três períodos de faturação diários, Tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Consumo elétrico em unidades de Energia, 90 dias.

Eletricidade	Quantidade
Consumo medido em vazio (kWh)	959
Consumo medido em ponta (kWh)	1457
Consumo medido em cheias (kWh)	3958

<sup>3</sup> Consultar a secção 4.6.3.

<sup>4</sup> O consumo anual da empresa será, muito provavelmente, revisto em baixa já que o período de maior consumo de energia elétrica é usualmente referente ao primeiro semestre do ano (dados EDP) e neste caso foi utilizado, para extrapolação do consumo, o valor lido e referente ao último mês do terceiro trimestre e aos dois primeiros meses do quarto. Será no entanto, neste documento, determinado o erro esperado em todas as extrapolações realizadas.

Somando as quantidades de energia consumida, medidas nos diferentes períodos de faturação, obtém-se um valor de consumo total, para o período referido, de cerca de 6,37 MWh, Tabela 4.8. Tendo em conta o consumo total registado na leitura realizada ao contador, e se forem considerados os cinco dias úteis de trabalho por semana e um período médio de onze horas diárias em funcionamento prevê-se um consumo médio diário de potência de cerca de 9,1 kW, ou kVA.

Tabela 4.8 - Consumo de energia elétrica no edifício, em MWh.

Energia consumida em 90 dias (MWh)	6,37
Energia consumida anual, prevista (MWh)	25,9

Foi feita uma extrapolação<sup>5</sup> da leitura ao contador para determinar o consumo anual de energia elétrica no edifício no ano de 2013. Concluiu-se que este poderá rondar os cerca de 25,9 MWh (Tabela 4.8), considerando-se um ano com 365 dias – consumo referente apenas aos 269 dias de trabalho, correspondentes aos dias úteis do ano. É necessário referir que este valor poderá não ilustrar a realidade devido ao seu erro associado, indicado no início desta secção e explorado em mais detalhe na secção seguinte. Será assumido, no entanto, este valor como a referência de consumo anual da empresa antes da implementação da MRCE ao sistema de iluminação, uma vez que não foram fornecidas outras leituras de energia referentes ao ano de 2013, e que se trata de uma aproximação bastante aceitável do valor de consumo de eletricidade na empresa.

#### 4.5.1. Erro Mínimo Associado à Extrapolação, Leitura de 2013

Foi assumido, para o cálculo do erro associado à previsão do consumo anual da empresa, no ano de 2013, que o fornecimento de energia à Provida se encontra dentro dos valores registados a nível nacional. Segundo os valores apresentados na tabela de distribuição de energia, disponibilizada pela EDP distribuição, que opera a distribuição de energia em Portugal, foram fornecidas em cada trimestre de 2013 e em baixa tensão (BT)<sup>6</sup> as quantidades de energia apresentadas na Tabela 4.9, na variável "Fornecido". Determinando a ponderação de cada um dos semestres em relação ao valor total de energia fornecida, em BT, em Portugal (soma do valor dos quatro trimestres, igual a 11,1 GWh) facilmente se determina o peso do consumo, em percentagem, de cada trimestre face ao consumo de energia elétrica anual, Tabela 4.9, variável "Peso do Trimestre".

Tabela 4.9 - Energia fornecida em Portugal. (Fonte: EDP)

	1T- 2013	2T- 2013	3T- 2013	4T- 2013
Fornecido (GWh)	3335	2673	2519	2552
Peso do Trimestre (%)	30,1%	24,1%	22,7%	23,0%

No entanto, a leitura realizada em 2013 ocorreu entre o terceiro trimestre (30 dias no mês de Setembro) e o quarto trimestre (60 dias nos meses de Outubro, Novembro e início Dezembro). Foi desta forma necessário calcular uma média ponderada para determinar a que percentagem do consumo total anual, "%Consumo anual", se refere a leitura disponibilizada pela EDP, Tabela 4.10 Atribuiu-se, nesse caso, uma ponderação de 30/90 dias à percentagem de energia

<sup>5</sup> Extrapolou-se o valor de consumo lido em 90 dias para o período de um ano.

<sup>6</sup> A tarifa contratada pela Provida encontra-se dentro do regime de baixa tensão normal (BTN).



fornecida no terceiro semestre (3T 2013) e uma ponderação de 60/90 dias à percentagem de energia fornecida no quarto trimestre (4T 2013). Multiplicando a ponderação atribuída a cada trimestre pela sua variável "Peso do Trimestre" (Tabela 4.9) verifica-se que a leitura fornecida pela EDP poderá representar cerca de 23% do consumo total de energia elétrica no edifício, como se pode verificar pela Tabela 4.10.

Tabela 4.10 - Ponderação da leitura da EDP face ao consumo anual de energia.

% Consumo anual	23%
% Erro	8%

Tendo em conta os quatro períodos idênticos considerados, e caso se verifique a conformidade do consumo da empresa com os dados de fornecimento de energia disponibilizados pela EDP, conclui-se que ao extrapolar a leitura de consumo para o período de um ano (4×90 dias) se estará a prever um valor de consumo correspondente a apenas 92% do consumo total de energia elétrica, e como tal, assume-se um erro mínimo de extrapolação que rondará os cerca de 8%.

#### 4.6. Metodologia II, Sistema de Iluminação e pós-2014

Segundo os valores registados no amperímetro verificou-se uma redução direta de corrente necessária para o funcionamento de uma única fração do sistema de iluminação de cerca de 7 para 1,1 Ampère, respetivamente as Fig. 4.4 e Fig. 4.5. Aplicando-se a lei de Ohm, Equação (5), à corrente medida, e tendo em conta a tensão padrão de 230 Volt, facilmente se poderão retirar conclusões relativas à potência instalada da totalidade do sistema de iluminação no armazém.

$$V = R \times I \quad (5)$$

$$P = R \times I^2 \Leftrightarrow P = V \times I \quad (6)$$

"V" corresponde à tensão do circuito em Volt (V), "R" à resistência em Ohm ( $\Omega$ ), "I" à intensidade de corrente em Ampère (A) e "P" ao consumo de potência em W. Será aplicada a Equação (6) para a determinação da potência de funcionamento do sistema de iluminação antes e após as alterações realizadas.

Pela aplicação das Equações (5) e (6), e de grosso modo, com o sistema de iluminação antigo era utilizada uma potência de arranque do sistema de iluminação de cerca de 9200 W, com uma potência de funcionamento de cerca de 6400 W, no armazém. Neste momento, e após a intervenção, prevê-se uma redução desse valor para uma potência de funcionamento que rondará os 1024 W. Representando uma poupança na ordem dos 5,3 kW (tinha sido estimado um valor superior<sup>7</sup>, Tabela 4.5, de cerca de 7,9 kW). Ambos os valores determinados pelas medições realizadas, e posterior cálculo, se encontram abaixo do previsto, o que pode ser explicado pelo facto de terem sido utilizados, no cálculo inicial, os valores de consumo de potência das lâmpadas obtidos junto do fornecedor.

---

<sup>7</sup> A potência das lâmpadas LED foi feita com base nos valores dados pelo fornecedor, e que não são necessariamente idênticos ao consumo real das lâmpadas. Para além disso o consumo assumido para as lâmpadas que foram substituídas foi determinado com base em lâmpadas que correspondiam as características das existentes e que muito certamente não são iguais.

É necessário referir que na análise do consumo de energia elétrica do edifício, antes e após a implementação do novo sistema de iluminação, não serão considerados os projetores que se encontram no exterior do mesmo bem como as campânulas do armazém, discriminados na Tabela 4.1. Considerou-se, em termos de cálculo, que estes mantiveram o seu consumo de potência. O consumo destes dispositivos estará, por isso, incluindo na varável "restantes consumos" que será introduzida no capítulo seguinte. A substituição destes dispositivos serviu apenas como medida de aumento da eficácia energética da iluminação exterior, uma vez que se verificou que esta alteração permitiu melhorar as suas condições de visibilidade.

#### 4.6.1. Análise e Previsão do Consumo da Iluminação, 2013

Uma vez que já foi analisada a fatura energética da empresa, Metodologia I, é possível determinar analiticamente o valor de consumo de energia, esperado, do novo sistema de iluminação. Para a realização desta primeira análise de resultados teve-se em conta o consumo total de energia elétrica do edifício, obtido pela Metodologia I.

Para além do armazém existe uma outra fração, de escritórios, onde o consumo de energia elétrica para a iluminação tem uma influência significativa no consumo total da empresa. Considerou-se, para este espaço, a utilização de dez lâmpadas, do tipo T8 150 (Tabela 2), com um consumo de potência de 54 W/unidade – perfazendo um total de 540 W ou 0,54 kW. Não foi incluído neste cálculo o consumo relacionado à utilização de arrancadores e balastos no sistema, mais uma vez pela sua variabilidade de utilização. Quando ao consumo de potência no armazém considerou-se o valor base, medido e calculado na secção anterior, de 6400 W, Tabela 4.11.

Tabela 4.11 - Potência teórica instalada para iluminação, pré-alterações.

	Escritórios	Armazém
P <sub>iluminação</sub> [W]	540	6400
h <sub>utilização</sub>	11	11

Tiveram-se como base onze horas de funcionamento médio, correspondentes ao funcionamento da empresa, e um período de sessenta e quatro dias úteis de funcionamento, de um período total de faturação de 90 dias referente à leitura da EDP. Recorrendo-se novamente à Equação (1), em que a potência instalada corresponde à soma das potências de iluminação (W), Tabela 4.11, do armazém e escritórios, foi obtida a quantidade energia elétrica consumida pelo sistema, em MWh. O restante consumo, que perfaz o consumo total lido no contador de 6,37 MWh (Tabela 4.9), foi atribuído aos restantes dispositivos consumidores de energia (tais como computadores, maquinaria de funcionamento elétrico, etc.), variável "Restante Edifício", Tabela 4.12.

Tabela 4.12 - Previsão do consumo de energia pré-alterações, para 90 dias.

Iluminação [MWh]	Restante Edifício [MWh]
4,89	1,49
Porcentagem do Consumo Total (%)	
76,7%	23,3%

Foi feita uma estimativa da percentagem de utilização de energia elétrica para iluminação e restante edifício, onde se chegou a uma ponderação final de cerca de 77% de uso de energia elétrica apenas para a iluminação.

#### 4.6.2. Previsão do Consumo pós-2014

Foram realizados, da mesma forma, os cálculos necessários para se quantificar o impacto das alterações introduzidas no sistema pela implementação desta MRCE. Procedeu-se, tal como anteriormente, com valores obtidos pelas medições feitas *in loco*, mas após as alterações do sistema. Considerou-se novamente a utilização de dez lâmpadas do tipo T8 150 nos escritórios, no entanto de tecnologia LED. Foi considerado um valor de 23 W/unidade, correspondente ao valor obtido junto do fornecedor, Tabela 4.13.

Tabela 4.13 - Potência teórica instalada para iluminação, pós-alterações.

	Escritórios	Armazém
Piluminação [W]	230	1024
hutilização	11	11

Tabela 4.14 - Previsão de consumo de energia pós-alterações, para 90 dias.

Iluminação [MWh]	Restante Edifício [MWh]
0,87	1,49
Percentagem do Consumo Total (%)	
36,8%	63,2%

Assumindo os valores apresentados na Tabela 4.13 e Tabela 4.14, espera-se uma diminuição de gastos de energia relacionados com a iluminação que rondam os cerca de 4 MWh para um período de 90 dias. Uma poupança que se traduziria numa diminuição do peso da iluminação no consumo total de eletricidade do edifício de 77% para cerca de 37%, tendo em conta que o consumo de energia no restante edifício se mantém constante.

#### 4.6.3. Previsão do Consumo do Ano de 2014

Na realização da extrapolação assumiu-se que os meses de Janeiro e Fevereiro teriam um comportamento idêntico, em termos de consumo de energia elétrica, ao dos restantes meses do ano, onde o sistema de iluminação mais eficiente estaria já implementado. Será de se prever, portanto, que esta previsão de consumo esteja revista em baixa para o ano referido.

#### 4.6.4. Comparação dos Consumos de 2013 e Pós-2014

Será espectável, tendo em conta a tendência registada, que o consumo total de energia elétrica do edifício se reduza, no total, e para um período homólogo de noventa dias, de cerca de 6,4 MWh para 2,4 MWh, Fig. 4.6, com a implementação desta MRCE, o que representará uma diminuição total no consumo de energia elétrica que ronda os cerca de 63,1%.

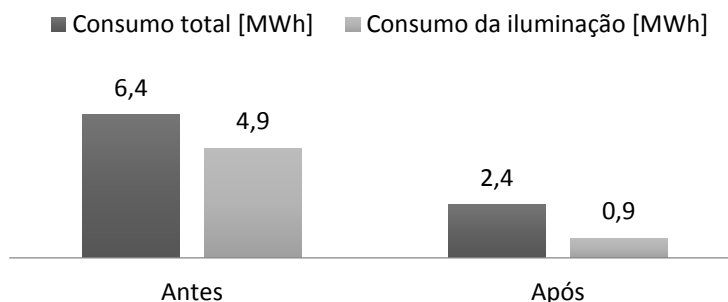


Fig. 4.6 - Consumo de energia elétrica total e para iluminação, 90 dias.

Extrapolando esta poupança para o período de um ano prevê-se uma poupança anual que deverá andar na ordem dos 16,3 MWh, de um consumo anual que se previu perto dos 25,9 MWh antes da implementação da MRCE, Tabela 4.8. Uma diminuição destas dimensões representaria uma clara poupança no consumo de energia elétrica no edifício que, teoricamente<sup>8</sup>, se situará em cerca 9,5 MWh anuais, Fig. 3.1.

Tabela 4.15 - Tabela de consumos anuais de energia esperados, após as alterações.

Energia consumida, anual [Wh]	
9.547.427	
Iluminação [Wh]	Restante edifício [Wh]
3.511.787	6.035.640

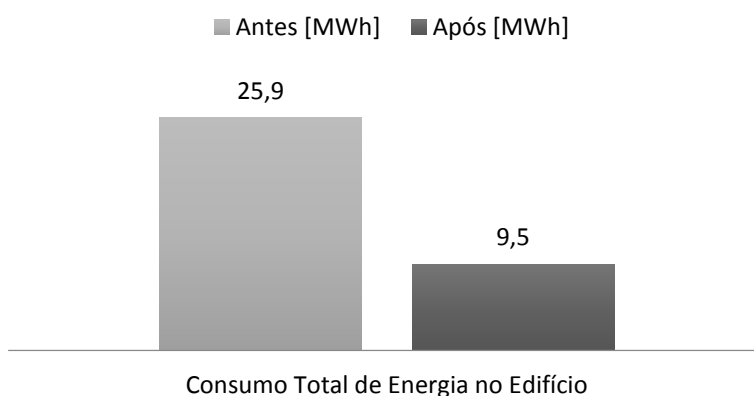


Fig. 4.7 - Consumo de energia elétrica anual do edifício.

#### 4.7. Metodologia III, Leitura de 2014

A leitura realizada no mês de junho do ano de 2014 teve como objetivo comprovar o impacto da aplicação da MRCE no consumo da empresa. Foi desta forma realizada uma leitura no contador da Provida no dia 12 de junho e outra passados sete dias, no dia 19 de junho.

##### 4.7.1. Análise da Contagem

No dia 12 de junho foi realizada uma leitura do contador às 11h24 com o objetivo de se registarem os valores iniciais da contagem para que na visita seguinte, no dia 19 de Junho, também às 11h24, se pudesse fazer uma estimativa do valor de energia total consumida durante esse período de tempo, correspondente a uma semana. O contador da empresa encontra-se diferenciado nos três períodos de faturação, já referidos e discriminados na fatura da EDP, de vazio, ponta e cheia. Foram então registados os seguintes valores referentes ao início e final da contagem, Tabela 4.16 e Tabela 4.17.

<sup>8</sup> Valor teórico, sem considerar os erros de extrapolação, e apenas verificado caso não hajam quaisquer modificações nos restantes consumos de energia no edifício e caso as assunções feitas correspondam à realidade.

Tabela 4.16 - Registo inicial da leitura do contador da empresa.

Eletricidade	Quantidade
Consumo medido em vazio (kWh)	10.275
Consumo medido em ponta (kWh)	11.741
Consumo medido em cheias (kWh)	33.443
Consumo total (kWh)	55.459

Tabela 4.17 - Registo final da leitura do contador da empresa.

Eletricidade	Quantidade
Consumo medido em vazio (kWh)	10.315
Consumo medido em ponta (kWh)	11.803
Consumo medido em cheias (kWh)	33.602
Consumo total (kWh)	55.720

Subtraindo o valor de consumo total (kWh) referente ao início da contagem, Tabela 4.16, ao valor lido no final da contagem (kWh), Tabela 4.17, obteve-se o consumo semanal, em Wh, apresentado na Tabela 4.18. Este valor foi posteriormente extrapolado para determinar o consumo trimestral (90 dias) e anual ( $4 \times 90$  dias), Tabela 4.18.

Tabela 4.18 - Previsão de consumo de energia elétrica semanal, mensal e anual.

Energia consumida, semanal (Wh)
261.000
Energia consumida, trimestral (Wh)
3.355.714
Energia consumida, anual (Wh)
13.422.857

Prevê-se desta forma que o consumo anual ronde os 13,4 MWh, valor representativo de uma poupança anual que deverá andar na ordem dos 12,4 MWh, de um consumo anual previsto de cerca de 25,9 MWh no ano de 2013, Tabela 4.8. Esta poupança corresponde a uma diminuição total no consumo de energia elétrica que deverá rondar os 48%.

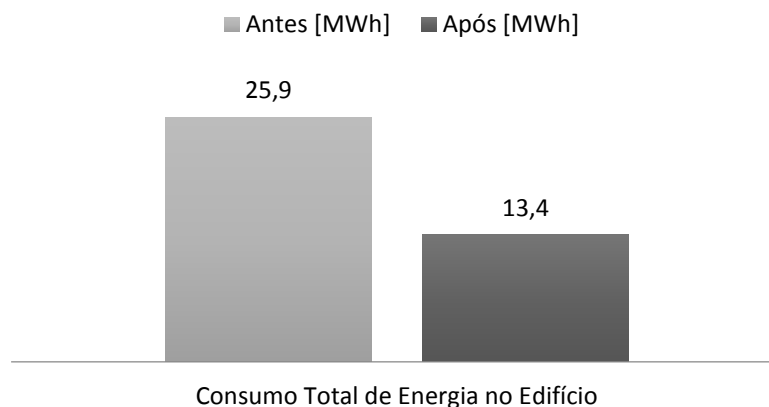


Fig. 4.8 - Consumo de energia elétrica total no edifício, ano.

#### 4.7.2. Erro Mínimo Associado à Extrapolação, Leitura de 2014

À semelhança do procedimento realizado na Secção 4.5.1 será calculado o erro associado à extrapolação do consumo anual de eletricidade pela leitura realizada ao contador em Junho de 2014. Foi assumido da mesma forma que as necessidades energéticas trimestrais da empresa se comportam de acordo com os dados de distribuição de energia disponibilizados pela EDP distribuição, assumindo-se portanto as percentagens de consumo referentes a cada um dos trimestres do ano, Tabela 4.9. Como a leitura do contador foi feita numa semana específica de um mês correspondente ao segundo trimestre (2T2013), será assumido diretamente o peso do trimestre na distribuição anual de energia, apresentado na Tabela 4.9 e transposto para a Tabela 4.19 na variável "%Consumo anual".

Tabela 4.19 - Erro associado à leitura de Junho de 2014.

	2T2013
% Consumo anual	24,1%
% Erro	4%

O consumo de energia elétrica feito no segundo semestre anual poderá representar cerca de 24% do consumo total do edifício. O que significa que ao realizar a extrapolação do consumo lido para o período anual, novamente considerando-se quatro períodos idênticos, obtém-se um valor de consumo que poderá ser referente a apenas 96% do consumo real, sendo desta forma assumido um erro mínimo de 4% na previsão do consumo pela leitura de junho de 2014. É necessário referir que existe ainda o erro associado à extrapolação do consumo lido numa semana para o período de um trimestre. Dado que a leitura não foi feita à totalidade do trimestre, considerou-se, como aproximação, que o consumo de energia elétrica de uma semana se mantém constante ao longo de todo o ano<sup>9</sup>.

#### 4.8. Erro Global da Previsão do Consumo Anual

Existe, de facto, uma discrepância de cerca de 3,9 MWh entre o consumo de energia elétrica anual previsto, após a alteração da iluminação, pelas Metodologia II e III. A diferença entre os dois resultados é de cerca de 29%, Fig. 4.9, um valor um pouco elevado mas que no entanto pode ser explicado.

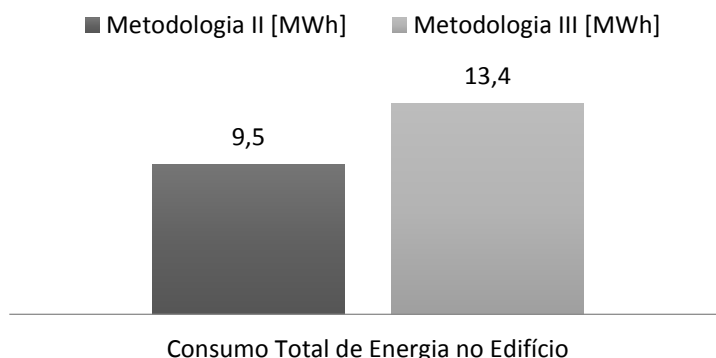


Fig. 4.9 - Comparação das previsões de consumo.

<sup>9</sup> O que não será necessariamente uma realidade. Mas, dada a regularidade de trabalho semanal na empresa, será considerada uma aproximação bastante válida.

Crê-se que este erro esteja essencialmente relacionado com o facto de se ter assumido que o sistema de iluminação se encontra em funcionamento durante onze horas diárias, na Metodologia II, assumidas pela verificação feita no local durante o período de trabalhos na empresa. Durante as duas leituras ao contador realizadas em Junho de 2014 verificou-se no entanto que uma das quatro frações de iluminação existentes no armazém se encontra desligada durante a maioria do dia, sendo esta ligada apenas nos períodos de maior necessidade.

Caso fosse considerado um período médio de nove horas de funcionamento, calculado com base num funcionamento de três<sup>10</sup> horas de 1/4 da iluminação do armazém e um funcionamento de onze horas dos restantes 3/4, a percentagem representativa do consumo do sistema de iluminação face ao restante consumo do edifício diminuiria, Tabela 4.13, tornando nesse caso, este último, mais preponderante<sup>11</sup> no cálculo do consumo total de energia, e aproximando assim o valor do consumo previsto pela Metodologia II ao da Metodologia III.

Assumir-se-á em todo o caso, e dado que não existe uma dependência do número de horas de funcionamento do sistema de iluminação na extrapolação realizada, o valor previsto pela Metodologia III como o mais correto, não esquecendo no entanto que este terá, possivelmente, um erro mínimo associado à sua extrapolação de 4%, Tabela 4.19. Podendo existir ainda um outro erro, que será um pouco superior ao da Metodologia II, associado ao facto de se ter assumido que o consumo, referente ao período da leitura de uma semana, se repete, de forma mais ou menos constante, ao longo de um trimestre.

Seria necessário, de facto, monitorizar-se o consumo ao longo de um período mínimo de um ano para se poder determinar o impacto real desta medida de eficiência energética. No entanto, e uma vez que não será possível realizar uma monitorização anual, e ainda devido à complexidade da previsão analítica do consumo, assumir-se-á que o consumo final previsto comporta erros associados a essa simplificação, tornando assim possível a realização do seu cálculo aproximado.

---

<sup>10</sup> Dado que esta fração só é ligada nos períodos de maior necessidade será considerado um período de três horas médias por dia.

<sup>11</sup> O consumo do "restante edifício" foi assumido como estático. Uma diminuição na ponderação do sistema de iluminação face ao consumo total da empresa aumentaria a quantidade de consumo, em Wh, atribuído ao "restante edifício", que ao ser transposto para a previsão do consumo anual pós-2014 aumentaria a quantidade de energia consumida que não é afetada pela medida de eficiência energética, aumentando assim o consumo total da empresa.





## 5. Estudo Complementar

Como forma de minimizar o impacto do consumo elétrico na empresa, serão apresentados neste capítulo alguns estudos relacionados com o consumo de energia renovável bem como de melhoria da operação de sistemas e equipamentos, estando esta última sobretudo relacionada com a climatização do espaço e a utilização de equipamentos consumidores de energia elétrica, que sejam suscetíveis a intervenções de aumento de eficiência e eficácia energética. É pretendido, através desta análise, compreender a viabilidade de algumas destas medidas, seja pela complexidade de implementação ou pelos custos associados.

É necessário referir que se terá em conta, no estudo de instalação solar fotovoltaica, a previsão de consumo do sistema de iluminação após a implementação da MRCE estudada no capítulo anterior e obtida pela Metodologia II. Qualquer referência ao consumo de energia elétrica da empresa será feita com base nos resultados obtidos, sendo necessário não esquecer (por menor que este seja) o seu erro mínimo associado.

### 5.1. Estudo de Instalação Solar Fotovoltaica

Pretende-se dimensionar um sistema que recorra a uma FER, a energia solar fotovoltaica (PV), para a produção de energia elétrica no edifício da Provida. O objetivo principal deste estudo é o de dimensionar um sistema que permita suprimir uma parte dos gastos de energia elétrica, nomeadamente os provenientes da iluminação do edifício (após a aplicação da MRCE, Capítulo 4). Será assumido neste estudo um período máximo de funcionamento do sistema de iluminação. Em todo o caso um sobredimensionamento<sup>1</sup> do sistema PV implicará apenas um aumento do seu custo inicial, que será no entanto compensado pelo seu maior retorno anual proveniente de uma maior produção de energia elétrica. Garante-se desta forma que o sistema de iluminação é alimentado, ou compensado monetariamente através da venda de energia à rede, pelo sistema PV num período de utilização da iluminação correspondente a onze horas diárias (Metodologia II).

Como tal, considerar-se-á uma *baseline* do consumo que será igual à quantidade de energia consumida, diariamente, pelo sistema de iluminação do edifício. Uma vez que esta funciona constantemente, na grande parte do ano, durante o período diurno – coincidente com o período de funcionalidade de um sistema PV – existe a possibilidade de realizar um estudo de dimensionamento e viabilidade da instalação de um sistema *On-Grid*, na vertente de autoconsumo ou de venda de energia à rede. Como elemento de comparação, e determinação da melhor solução para suprimir a *baseline*, será feita uma abordagem e dimensionamento de ambos os tipos de sistemas neste capítulo.

Os sistemas PV comportam-se de uma forma, mais ou menos, previsível num determinado local. Com o intuito de aproximar ao máximo o estudo realizado com o seu funcionamento real, teve-se em conta a grande maioria das variáveis condicionantes destes sistemas (vistas na Secção 3.3). Como método de cálculo e simulação dos sistemas foi utilizado o *software* PVsyst, versão 6.0.1, que permite fazer a avaliação integrada destas variáveis. Através da simulação realizada no *software*, obteve-se um relatório final em que são sumarizadas as características de um sistema *On-Grid*.

---

<sup>1</sup> É considerado um sobredimensionamento face às necessidades de energia elétrica para a iluminação, no entanto, este excedente de produção elétrica poderá ser utilizado para outras aplicações elétricas, não sendo por isso desperdiçada qualquer energia produzida. Qualquer sobredimensionamento do sistema, desde que não exceda o limite máximo de instalação (visto mais à frente), será visto apenas como uma maior produção de energia que garantirá um retorno anual superior apesar do maior custo inicial do sistema.

Esta medida de aumento de eficiência energética encontra-se dentro das medidas propostas pelo PNAER 2020, apresentado na Secção 2.3.2 deste documento, e no âmbito do aumento da capacidade instalada proveniente de FER na rede elétrica nacional. É necessário referir ainda que a realização do estudo de um sistema *Off-Grid* seria também possível. No entanto, e dado que não se trata de um local remoto sem acesso à rede pública de eletricidade, a sua viabilidade económica seria bastante baixa devido ao seu elevado custo inicial e à sua menor eficiência de produção em comparação com um sistema *On-Grid*, tal como foi visto na revisão de literatura na Secção 3.3, tornando assim o investimento no sistema pouco atrativo.

### 5.1.1. Características do Local da Instalação.

O valor da potência pico do sistema, " $P_{pico}$ ", é obtido pela divisão da *baseline* do consumo ( $E_{PV}$ ) em Wh e as horas solares pico (PSH) diárias do mês e para o local de referência em horas, Equação (8). Em que o valor de PSH é dado pela divisão do somatório da irradiância média diária do mês de referência, " $I_{diária}$ ", em Wh/m<sup>2</sup> pelo valor de irradiância padrão assumido, de 1 kW/m<sup>2</sup>, Equação (7) (Markvart & Castañer, 2003).

$$PSH = \frac{I_{diária}}{10^3} \quad (7)$$

$$P_{pico} = \frac{E_{PV}}{PSH} \quad (8)$$

É bastante comum em Portugal, e mais correto, dimensionar-se o sistema PV para o período anual de menor radiação incidente por metro quadrado de área, i.e., para o mês de dezembro (como se pode verificar pela Tabela 5.1). Uma vez que se conhece a localização exata das instalações da Provida – a 38°49'22" N e 9°19'8" W – foi realizado um primeiro teste às condições locais de irradiância média diária, e mensal, disponíveis por metro quadrado de terreno. Recorreu-se, para isso, à base de dados proporcionada pela Comissão Europeia, o "*Photovoltaic Geographical Information System*" (PVGIS), Tabela 5.1 – apresentado no Anexo IV do documento. Este teste de performance representa apenas uma estimativa da geração de eletricidade que seria de se esperar num ano típico, e para o local já destacado. Como tal, foram assumidas algumas características do sistema, que se assemelham bastante às posteriormente utilizadas no dimensionamento do mesmo, como é o caso da inclinação ótima do sistema – explicada em detalhe mais à frente.

Tabela 5.1 - Geração solar para a inclinação ótima. (PVGIS, 2014)

Inclinação ótima: 49°				
Orientação: 0°				
Mês	Ed (kWh)	Em (kWh)	Id (kWh/m2)	Im (kWh/m2)
Jan	3,12	96,9	3,95	123
Fev	3,76	105	4,83	135
Mar	4,33	134	5,68	176
Abr	4,42	132	5,87	176
Mai	4,33	134	5,8	180
Jun	4,36	131	5,96	179
Jul	4,53	141	6,26	194
Ago	4,71	146	6,5	202
Set	4,68	140	6,4	192
Out	4,02	125	5,36	166
Nov	3,43	103	4,5	135
Dez	2,98	92,3	3,84	119
Ano	4,06	123	5,41	165
Total anual		1480		1980

A variável " $E_d$ " corresponde à produção média de eletricidade diária do sistema PV, " $E_m$ " à sua produção média de eletricidade mensal, " $I_d$ " o somatório da irradiância global média diária recebida por metro quadrado pelos módulos do sistema em kWh/m<sup>2</sup> e " $I_m$ " ao somatório da irradiância global média mensal recebida por metro quadrado também em kWh/m<sup>2</sup>. É necessário referir que a variável " $I_d$ " corresponde à variável, já referida na Equação (7), " $I_{diária}$ ", e que os dados apresentados se referem à simulação de um sistema PV com uma potência nominal de 1,0 kW, constituído por células de silício cristalino. Tendo sido considerados, pelo PVGIS, os valores de perdas padrão de 10,3% devido à temperatura e baixas irradiâncias periódicas; 2,7% devido a efeitos de ângulos de reflexão e 14% de perdas causadas por outros efeitos e ainda de 24,9% relacionados com o funcionamento do sistema, Anexo IV.

Para garantir que o sistema solar funciona de forma autónoma durante o mês do ano com piores níveis de irradiância por metro quadrado é necessário definir uma inclinação ótima dos coletores, tendo em conta a declinação solar anual, que varia entre os -23°27' e os 23°27', nos dias 21 de dezembro e 21 de junho, respetivamente. Desta forma, optou-se pela utilização de uma inclinação dos módulos de cerca de 49°. Este valor é obtido pela relação entre a latitude do local – de 38°49'22" N  $\approx$  39° N – e a variação anual da declinação solar, o que se traduz na necessidade de um aumento de inclinação dos módulos em 10°, correspondente ao valor típico<sup>2</sup> de otimização num sistema solar PV para o período de inverno<sup>3</sup>. Esta inclinação dos módulos PV foi estabelecida admitindo-se que o telhado é plano (o que foi verificado no local durante a visita técnica às instalações).

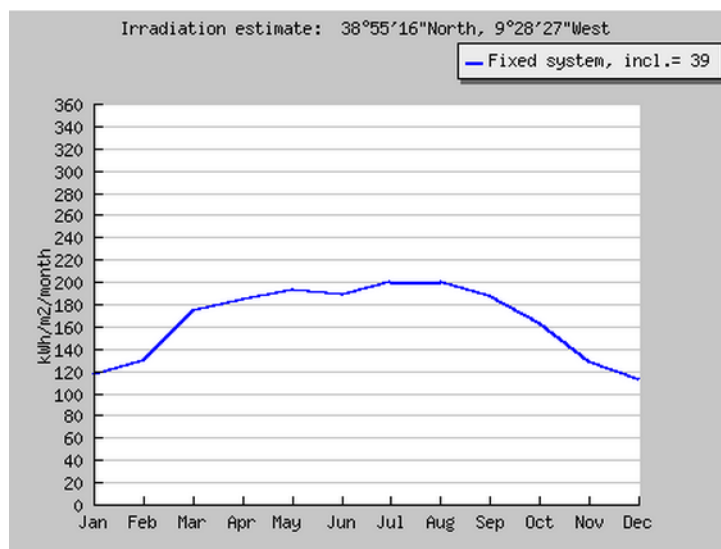


Fig. 5.1 - Irradiância local, em kWh/m<sup>2</sup>, inclinação igual à latitude (PVGIS, 2014).

<sup>2</sup> Esta otimização é necessária nos sistemas solares PV estacionários, uma vez que não existe seguimento solar que permita o acompanhamento, ao longo do ano, da posição do sol e consequentemente obter-se uma melhor eficiência do sistema.

<sup>3</sup> A inclinação ótima no período de verão corresponde ao valor da latitude local, em graus, menos 10° de inclinação.

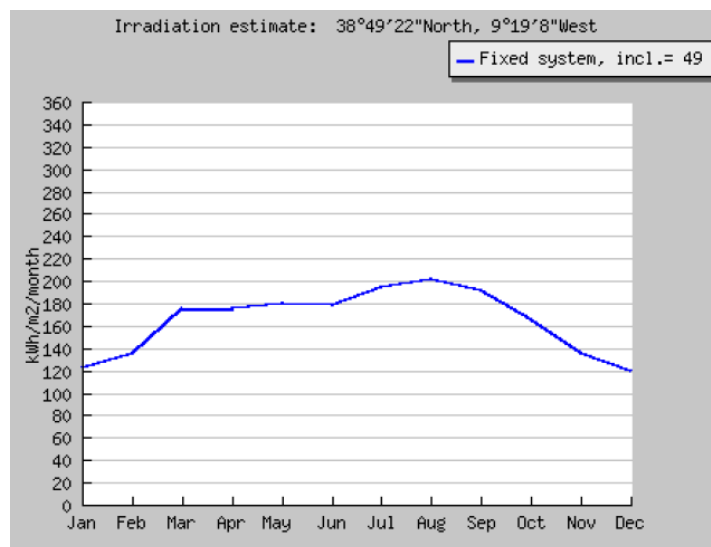


Fig. 5.2 - Irradiância local, em kWh/m², inclinação ótima (PVGIS, 2014).

Como se pode verificar pelos gráficos obtidos no PVGIS, apesar da pequena diminuição de irradiação incidente no coletor no período do verão, provocada pela inclinação dos módulos, verifica-se um ligeiro aumento de produção nos meses de inverno. Como se pretende ter condições constantes ao longo do ano, que permitam o bom funcionamento do sistema, a utilização da inclinação ótima nos coletores representa uma medida de melhoria de desempenho anual para um sistema estático, tal como seria de se esperar.

### 5.1.2. Cálculo da Potência Pico do sistema

Para iniciar o dimensionamento do sistema será calculada a potência pico,  $P_{pico}$ , necessária para que sistema PV suprima a *baseline* no mês de referência, tendo em conta os resultados demonstrados na Tabela 5.1 e recorrendo-se às Equações (7) e (8). Pelos dados sumarizados na Tabela 5.2, e pela aplicação da Equação (7), obteve-se um valor de PSH de cerca de 3,84 horas diárias.

Tabela 5.2 - Calculo das horas solares pico.

Iradiância solar padrão	$\Sigma$ Iradiância média diária	PSH
1 kW/m²	3,84 kWh/m².dia	3,84 horas/dia

Pela aplicação da Equação (1) à potência de iluminação LED instalada, na ordem dos 1254 W (referentes ao armazém e à fração de escritórios, Tabela 4.13), e para o período de funcionamento referido (de onze horas diárias), obtém-se uma carga diária de iluminação do edifício,  $E_{PV}$ , de cerca de 13,79 kWh/dia. E, uma vez que foram determinados os valores de PSH e  $E_{PV}$ , facilmente se conclui pela aplicação da Equação (8) que será necessária uma potência pico do sistema PV que rondará os cerca de 3,59 kWp.

### 5.1.3. Componentes Físicas do Sistema

Para além das variáveis referidas, condicionantes do comportamento do sistema, serão ainda definidas as componentes físicas integrantes do sistema PV, cujo arranjo e/ou utilização pode variar consoante o tipo de sistema e as necessidades do utilizador. Estas componentes são a parte representativa de maiores custos deste tipo de sistemas, e por isso, deve ser feita uma otimização da sua eficácia, evitando assim perdas e ineficiências que representam custos adicionais para que se produza uma quantidade de energia elétrica idêntica.

#### 5.1.3.1. Coletores solares.

Será assumido um modelo de coletores solares fotovoltaicos idêntico para todos os tipos de sistemas, garantindo que a sua comparação é feita de forma imparcial e para que se possa avaliar apenas o comportamento do sistema e não dos diferentes tipos de dispositivos que o integram. Optou-se nesse caso pela utilização dos módulos *HiPerforma PLUTO 245-Wdm*, de tecnologia de silício policristalino, da marca *Suntech*. Com uma potência nominal de 245 Wp com uma tensão nominal ( $V_{mpp}$ ) de 29,8 V e corrente nominal ( $I_{mpp}$ ) de 8,23 A – encontra-se no Anexo I um documento com todas as características físicas do módulo PV. A potência nominal do módulo PV representa o valor de potência máxima que este poderá produzir, e é dada pela melhor relação entre a corrente e a tensão produzidas pelo mesmo, Equação (6).

#### 5.1.3.2. Inversor de carga.

Optou-se, para a maioria dos sistemas estudados, pela escolha de um modelo da SMA, o *Sunny Boy SB 5000 TL-21*, com uma tensão de operação que varia entre os 175 e 500 V e uma potência nominal de 4,60 kW, valor que garante, e supera, a potência pico do sistema – as restantes características deste inversor encontram-se no Anexo II.

#### 5.1.3.3. Arranjo dos coletores.

Como foi utilizado um *software* para o dimensionamento do sistema foi assumido o arranjo de coletores estabelecido pelo mesmo, estando este pré-definido de forma a otimizar o funcionamento do sistema. Devido às características do local, não foram consideradas quaisquer obstruções que possam ser responsáveis pela criação de sombras nos coletores e que causariam, com toda a certeza, um certo impacto na produção final de energia elétrica. Neste caso não existem por isso quaisquer necessidades especiais no arranjo dos coletores solares.

### 5.1.4. Sistema PV On-Grid

Os cálculos efetuados no PVsyst v6.0.1 são feitos recorrendo a uma base de dados solares diferente da do PVGIS, o que significa que os valores apresentados para a irradiância global média mensal recebida por metro quadrado nos módulos,  $I_m$ , diferem daqueles que foram utilizados na simulação. Como forma a minimizar o impacto desta diferença, e tendo em conta que os dados do PVGIS são mais recentes, foi feito um novo sobredimensionamento do sistema. Considerando-se, nesse caso, uma potência instalada de iluminação LED de 1,5 kW<sup>4</sup>, o que corresponde pela aplicação da Equação (1) a uma carga  $E_{PV}$  de cerca de 16,5 kWh/dia. Aplicando à carga  $E_{PV}$  assumida a Equação (8) é obtida uma  $P_{pico}$  do sistema PV que ronda os 4,30 kW<sub>p</sub>, que é superior aos 3,59 kW<sub>p</sub> anteriormente calculados.

Yearly meteo yield	
Transposition Factor FT	1.13
Loss By Respect To Optimum	-2.7%
Global on collector plane	1902 kWh/m <sup>2</sup>

Fig. 5.3 - Irradiância Global/m<sup>2</sup>, inclinação de 49° (PVGIS, 2014).

<sup>4</sup> O valor calculado pelas medições realizadas no local e pelos dados do fornecedor indica uma potência instalada de iluminação de cerca de 1,25 kW, Tabela 4.13.

Como é possível verificar pela Fig. 5.3 o valor da irradiância global anual recebida por metro quadrado pelo sistema, considerada no *software* PVsyst, encontra-se abaixo daquele que foi apresentado na tabela de dados fornecidos pelo PVGIS © *European Union*, de 1980 kWh/m<sup>2</sup>, como se verifica na Tabela 5.1.

### 5.1.5. Mini e Microprodução

A produção de energia PV para posterior venda à rede pode ser feita por via de dois tipos de produção distintos. Para ambos, existe um regime jurídico de produção de eletricidade de forma descentralizada com recurso a fontes de energia renováveis. São estas a mini e microprodução de energia, tendo ambas limites máximos estabelecidos de instalação de potência para esse fim.

A miniprodução é, essencialmente, adequada a empresas com elevados consumos energéticos uma vez que existe a possibilidade de instalação de uma potência até 250 kW, divididos em três escalões: (I) instalação de uma Potência superior a 3,68 kW e até 20 kW; (II) superior a 20 kW e até 100 kW; (III) superior a 100 kW e até 250 kW (DGEG, 2013). A microprodução, por outro lado, tem um objetivo um pouco diferente do já referido tendo sido criada com o objetivo de incentivar ao investimento nas energias renováveis por parte da população em geral. Existem, atualmente, dois regimes de venda de energia por parte de sistemas microprodutores, o regime de tarifa bonificada e o regime geral, tendo estes limites de instalação de potência de 3,68 kW e 5,75 kW, respetivamente (DGEG, 2013). Em ambos os casos existe um limite máximo de instalação de Potência para a produção, existindo uma proibição de instalação de uma potência de produção que seja superior a 50% do valor da potência contratada. A Potência injetada na RESP terá que estar por isso limitada pelo inversor instalado na unidade de microprodução, sendo que este terá que ter uma Potência nominal que não pode exceder esse limite (Renováveis na Hora, 2014). No presente estudo, e tendo em conta potência pico que se pretende instalar, o regime de produção mais adequado será o da microgeração, apesar da potência sobredimensionada (Secção 5.1.4) não se encontrar dentro do limite permitido de produção no regime bonificado. Este limite foi ignorado durante a realização do estudo, tendo em conta que caso o referido regime se demonstrasse suficientemente vantajoso face aos restantes poderia ser reajustado à potência pico do sistema PV calculada inicialmente (pelos dados do PVGIS), que se prevê ser suficiente para suprimir a *baseline* definido do consumo.

Foi fixada no despacho da microprodução da DGEG de 26 de Dezembro de 2013 uma quota de Potência de ligação ao conjunto de atividade de microprodução de 11,45 MW para o ano de 2014, distribuídos ao longo de várias sessões de registo, Tabela 5.3 (DGEG, 2013). Existindo por isso as necessidades de registo como produtor e de registo da unidade de microprodução, mediante o preenchimento de um formulário eletrónico disponibilizado pela DGEG. Após o registo será feita uma inspeção onde será verificada a conformidade das unidades de microprodução de acordo com o disposto no Decreto-Lei n.º 363/2007, e caso existam inconformidades será emitido um parecer com as cláusulas que deverão ser cumpridas para reverter as deficiências encontradas no sistema (Conselho de Ministros, 2007).

Tabela 5.3 - Programação das sessões de registo de sistemas. (DGEG, 2013)

Sessões (meses)	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Total [MW]
Potência [MW]	1,85	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	11,45

#### 5.1.5.1. Tarifa bonificada.

O mesmo despacho de 26 de dezembro de 2013 estabeleceu as tarifas de remuneração de unidade de microprodução que utilizem tecnologia solar PV, fixando a tarifa de referência, para o ano 2014, em 0,066 €/kWh num primeiro período (I) de 8 anos e de 0,145 €/kWh durante um segundo período (II) de 7 anos.

Tabela 5.4 – Períodos de tarifa bonificada, 2014. (DGEG, 2013)

Tarifa bonificada	
(I) - 8 anos	(II) - 7 anos
0,066 €/kWh	0,145 €/kWh

Para além de ter que ser respeitada a potência máxima de ligação de unidade de microgeração referida anteriormente (3,68 kW) terá ainda que ser instalado um sistema solar térmico de águas quentes sanitárias (AQS) ou, como alternativa, uma caldeira de biomassa. No caso do sistema AQS será necessária a instalação de um coletor solar térmico com pelo menos 2m<sup>2</sup>, e no caso da instalação da caldeira esta terá que ter uma produção anual de energia térmica equivalente à energia produzida pelo sistema AQS (DGEG, 2013) (Conselho de Ministros, 2007).

#### 5.1.5.2. Regime geral.

No regime de tarifa geral, ao contrário do que acontece no regime de tarifa bonificada, o preço de venda de energia à rede é determinado com base no seu custo de compra ao comercializador final de energia elétrica. Não existindo, neste caso, a necessidade de instalação de uma solução térmica de energia, AQS. A fórmula de remuneração deste regime é feita segundo consta no artigo 10º do Anexo I do Decreto-Lei n.º 25/2013, Equação (10).

$$REM_m = W_m \times P_{ref} \times \frac{IPC_{n-1}}{IPC_{ref}} \quad (10)$$

Onde "REM<sub>m</sub>" é a remuneração do mês em euros, "W<sub>m</sub>" a energia produzida no mês m em kWh, "P<sub>ref</sub>" o valor da parcela de energia da tarifa simples entre 2,30 e 20,7 kVA aplicada pelo comercializador de último recurso, "IPC<sub>ref</sub>" o índice de preços no consumidor referente ao mês de dezembro, publicado pelo INE e "IPC<sub>n-1</sub>" o índice de preços do consumidor referente ao mês de dezembro do ano n-1, publicado também pelo INE.

#### 5.1.5.3. Funcionamento do sistema.

No caso deste sistema a supressão da *baseline* do consumo será feita de forma indireta, i.e., vendendo uma quantidade de energia igual à que seria necessária para o funcionamento da iluminação à rede, de forma a abater esse valor na posterior compra de energia para alimentar a referida carga. Um sistema com estas características deve seguir a configuração do sistema apresentado na Fig. 5.4.

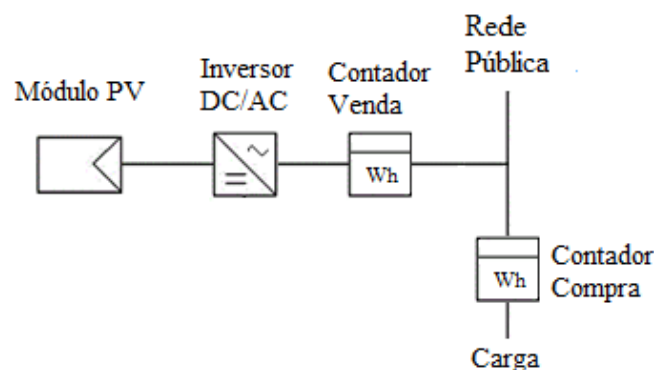


Fig. 5.4 - Representação de um sistema On-Grid de venda à rede.

Segundo o relatório emitido pelo PVSyst – apresentado no Anexo III – será proposto um arranjo constituído por dezasseis módulos PV. Sendo este constituído por duas malhas em paralelo com oito módulos em série cada. Esta disposição garantiria assim uma instalação de coletores com uma potência pico de 3,92 kWp e um campo de coletores com uma área de ocupação na ordem dos 26 m<sup>2</sup>.

#### 5.1.6. Autoconsumo

O autoconsumo é um tipo de sistema sem ligação à rede elétrica mas sim a uma carga (do edifício) em específico. Um sistema de autoconsumo fornece instantaneamente, através do inversor, energia elétrica à carga a que se encontra conectado, estando por isso esse fornecimento dependente da variabilidade do clima. O sistema, neste caso, foi projetado para alimentar apenas uma parte da carga do edifício, a sua *baseline*, sendo por necessário recorrer à energia elétrica proveniente da RESP para suprimir o restante consumo. A *baseline* do consumo poderá no entanto não ser completamente suprimida, uma vez que existe uma dependência instantânea do recurso solar, e como tal existe da mesma forma uma necessidade de consumo de energia da rede que compense essas perdas instantâneas.

O autoconsumo encontra-se, atualmente, definido pela Portaria n.º 237/2013, de 24 de julho. No entanto, existe ainda um grande desconhecimento desta vertente de produção em Portugal. Segundo a referida Portaria, o Decreto-Lei n.º 215-B/2012, de 8 de Outubro, prevê que a produção de eletricidade em regime especial estará sujeita a um controlo prévio, sendo necessária uma licença de produção ou um ato de admissão de comunicação prévia, realizada pelo interessado para ingressar neste tipo de produção. Segundo um comunicado feito à Associação Portuguesa das Empresas do Sector Fotovoltaico (APESF) (APESF, 2014) as dificuldades existentes na aprovação de projetos de autoconsumo estão cessadas e existe, agora, a possibilidade de criação de sistemas para autoconsumo em paralelo com a rede até uma potência instalada de 1 MW. É necessário, para tal, que o interessado na exploração do sistema garanta algumas das premissas presentes na Portaria já referida, nomeadamente a emissão de uma carta com uma declaração em que o interessado assegura que não irá injetar potência na RESP, que não pretende ingressar em nenhum regime bonificado, e que aceita a imediata integração da instalação no regime de autoconsumo em preparação. Será ainda, futuramente, necessária a instalação de um contador de produção, sendo garantido no entanto pela DGEG que não haverá qualquer encargo relacionado com a quantidade de energia produzida bem como consumida no local.

##### 5.1.6.1. Funcionamento do sistema.

As componentes deste tipo de sistema assemelham-se bastante às do sistema de venda de energia à rede já referido e apresentado na Fig. 5.4. Neste caso seria consumida instantaneamente toda a energia elétrica produzida pelo sistema PV e para o restante consumo recorrer-se-ia ao fornecedor de última instância, tal como se procede neste momento. Este controlo seria feito recorrendo-se a um inversor de carga que permita realizar distribuição de energia dessa forma e sem permitir a injeção de energia elétrica na rede, tal como referido numa das condições presentes na Portaria n.º 237/2013.

### 5.2. Estudo de Climatização do Edifício de Escritórios

Nesta secção serão calculadas as necessidades de climatização existentes nos escritórios da Provida. Pretende-se com a realização deste estudo dimensionar um sistema de climatização eficiente e que permita melhorar as condições de trabalho no local. O espaço dos escritórios tem uma área útil de cerca de 250 m<sup>2</sup>, e um volume de 750 m<sup>3</sup>, e encontra-se dividida em oito compartimentos, sendo que destes um corresponde à sala de reuniões e os restantes aos gabinetes de trabalho.



A realização do estudo insere-se no âmbito da melhoria da operação de sistemas e equipamentos referida na Norma EN ISO 50001 (Capítulo 2.5.1), ou seja uma melhoria do desempenho energético da empresa. Foi verificado, durante a visita técnica ao edifício, que o sistema de climatização existente na fração de escritórios se encontra bastante desatualizado, tendo sido verificado que o aquecimento do espaço, apesar da instalação de aparelhos de ar condicionado, estaria a ser realizado em grande parte recorrendo-se a radiadores elétricos, de alto gasto e ineficiência energética. Após esta verificação tornou-se necessário encontrar uma solução mais adequada, e menos dispendiosa, para fazer face às necessidades do espaço.

Segundo o Decreto-Lei n.º 118/2013, referente à promoção da melhoria do desempenho energético dos edifícios através do Sistema de Certificação dos Edifícios (SCE), que integra o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) não existe qualquer obrigação, segundo o Artigo 4.º, da certificação energética de instalações industriais, agrícolas ou pecuárias, dentro dos quais se encontra o edifício da empresa auditada neste documento. Apesar da não obrigação da certificação do edifício será de certa forma adotado, no cálculo de alguns parâmetros dimensionais do sistema de climatização, o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), Decreto-Lei n.º 80/2006, regulamento em vigor antes do RECS, e que será seguido na realização do presente estudo. Este regulamento aplica-se a edifícios de serviços (pelo que será considerada apenas a fração de escritórios existente no edifício) com uma área útil inferior ou igual a mil metros quadrados e sem sistema mecânico de climatização ou com um sistema de climatização de potência<sup>5</sup> inferior ou igual a 25 kW, o que se encontra dentro das características do edifício em estudo.

### 5.2.1. Necessidades de Aquecimento e Arrefecimento Sensíveis

Segundo o Artigo 13.º do Capítulo V do RCCTE, para o dimensionamento de novos sistemas de climatização é necessário ter em conta para a carga térmica de aquecimento todos os tipos de perdas contabilizadas no método de cálculo das necessidades de aquecimento que estejam especificadas no RCCTE (Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, 2006), e para a carga térmica de arrefecimento todos os ganhos sensíveis e latentes devidos à condução através da envolvente opaca e envidraçados.

Para realizar o cálculo das necessidades sensíveis de climatização no edifício serão consideradas todas as suas cargas térmicas, as  $Q_s$ ,  $Q_{is}$ ,  $Q_v$  e ainda  $Q_t$  (explicado na secção 3.4), que serão quantificadas em unidades de potência, Watt. Este dimensionamento de climatização constituirá apenas uma aproximação bastante aceitável das necessidades de climatização do edifício, uma vez que existem, para além das já referidas, algumas variáveis no sistema que devido à sua elevada complexidade dificilmente podem ser quantificadas. Embora as variáveis referidas sejam fenómenos, por natureza, instacionários serão abordados, tal como no RCCTE, com uma formulação média e em regime constante. Esta formulação é possível dado que as variáveis são integráveis ao longo das estações de aquecimento e arrefecimento e os efeitos causados pela sua instacionaridade são compensados, podendo por isso ser desprezados em termos de cálculo. Será, nesse caso, utilizado um modelo simplificado da conservação de calor sensível num compartimento para condições estacionárias. Onde se assume que a carga de climatização do edifício, ou seja, as suas necessidades de aquecimento/arrefecimento sensível ( $N_{cs}$ ) correspondem à variável desconhecida, Equação (11).

---

<sup>5</sup> Respeitante à maior das potências de aquecimento ou de arrefecimento ambiente instalada no edifício.

$$N_{cs} = [Q_t + Q_v - (Q_{is} + Q_s)] / A_p \quad (11)$$

A variável " $A_p$ " corresponde à área de pavimento em  $m^2$  de espaço a climatizar. Este método, segundo o RCCTE, está definido de acordo com o permitido nas disposições da norma europeia EN ISO 13790, ajustado à realidade da construção em Portugal. O sinal, e o valor, dos parâmetros da Equação (11) altera-se consoante se trate de um dimensionamento do sistema de climatização na estação de aquecimento ou de arrefecimento, e pode ter um impacto positivo ou negativo na climatização do espaço. Por exemplo, o aquecimento do espaço provocado pelo funcionamento da iluminação terá um efeito positivo durante a estação de aquecimento, reduzindo por isso as necessidades do edifício, enquanto na estação de arrefecimento este terá o efeito contrário.

### 5.2.2. Temperatura e Humidade Relativa

Para a realização do dimensionamento do sistema de climatização do edifício serão assumidas as condições ambiente de conforto de referência, presentes no artigo 14.º do Capítulo V do RCCTE. Será considerada uma temperatura interior de conforto de 20°C, para a estação de aquecimento, e de 25°C e 50% de humidade relativa interior (HR) para a de arrefecimento.

Segundo (ASHRAE, 2009), para determinar as temperaturas atmosféricas ( $T_{atm}$ ), de aquecimento e arrefecimento, tiveram-se em conta os meses com a maior e menor temperatura de bolbo seco (TDB)<sup>6</sup> registadas. Estas são usualmente indicativas dos meses do ano correspondentes às maiores necessidades de carga de aquecimento e arrefecimento. Como foi já referido na revisão de literatura (da Secção 3.4.1) um sistema de AVAC não deve ser dimensionado para a necessidades de aquecimento/arrefecimento das piores condições climatéricas exteriores registadas. Como tal, as condições de temperatura e humidade do dimensionamento de arrefecimento, têm por base, muito usualmente, os percentis anuais de 0,4; 1,0 e 2,0%, que costumam corresponder na sua grande maioria aos dias com sol. Em relação ao dimensionamento de aquecimento estas condições costumam ser baseadas nos percentis anuais de 99,6 e 99%.

Foram utilizados para a determinação dos meses com maiores necessidades de aquecimento/arrefecimento, e das suas  $T_{atm}$  correspondentes, os dados fornecidas pela EnergyPlus<sup>7</sup>, para Lisboa, medidos pelo Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETI), apresentados na Tabela 5.5 e Tabela 5.6.

Tabela 5.5 -  $T_{atm}$  para 99,6 e 99%, aquecimento (EnergyPlus, 2014).

Arrefecimento			
<i>Design Stat</i>	<i>Coldest Month</i>	DB - 99,6	DB - 99,0
<i>Units</i>	{ }	{ °C }	{ °C }
<i>Heating</i>	1	4.2	5.8

<sup>6</sup> A temperatura de bolbo seco é a temperatura do ar medida por um termómetro, não indicando a quantidade de vapor existente no ar.

<sup>7</sup> Que podem ser encontradas na secção "Weather Data" (EnergyPlus, 2014).

Tabela 5.6 - Temperatura e Entalpia 0,4%, arrefecimento. (EnergyPlus, 2014)

Aquecimento			
<i>Design Stat</i>	<i>Hottest Month</i>	DB - 0,4	EN - 0,4
<i>Units</i>	{ }	{ °C }	{ kJ/kg }
<i>Cooling</i>	8	34.2	65.6

A temperatura atmosférica,  $T_{atm}$ , utilizada da estação de aquecimento foi obtida pelo cálculo da média das TDB fornecidas, recorrendo à base de dados referida, nas condições 99,6 e 99 (DB-99,6 e DB-99,0), e correspondente a uma temperatura média exterior de 5°C, apresentada na Tabela 5.7. Em relação à temperatura atmosférica considerada na estação de arrefecimento foram utilizadas a temperatura (DB-0,4) e entalpia (EN-0,4) fornecidas nas condições 0,4, de 34,2 °C e 65,6 kJ/kg, respetivamente. Recorrendo a um gráfico psicrométrico, para as referidas condições na estação de arrefecimento, é possível determinar o valor de HR exterior, de cerca de 35,6%, tal como demonstrado na Fig. 5.5.

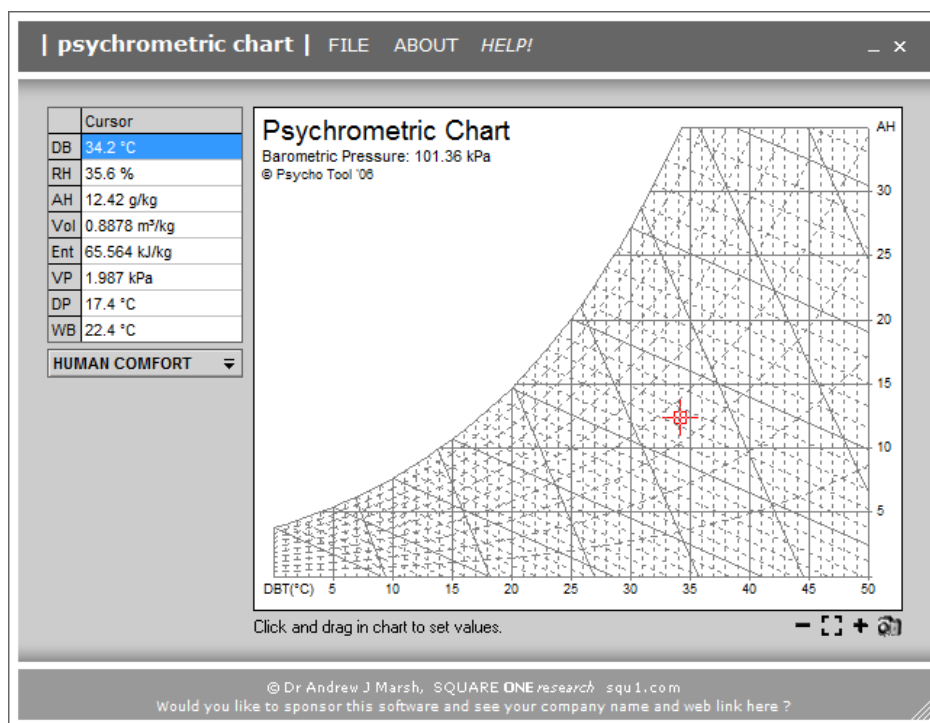


Fig. 5.5 - Gráfico psicrométrico, condições de arrefecimento. (PsychotTool)

Serão nesse caso consideradas as seguintes condições de temperatura e humidade relativa apresentadas na Tabela 5.7 para cada um das estações de aquecimento e arrefecimento.

Tabela 5.7 - Temperatura e HR consideradas no dimensionamento de climatização.

	$T_i$ (°C)	$T_{atm}$ (°C)	$HR_{int,m\acute{a}x}$ (%)	$HR_{ext}$ (%)
Aquecimento	20	5	-	-
Arrefecimento	25	34,2	50	35,6

### 5.2.2.1. Cálculo da temperatura do ar do local não aquecido.

Para o cálculo da temperatura do ar do local não aquecido,  $T_a$ , foram assumidos os valores de  $\tau$  correspondentes a um espaço não útil referente a um armazém. Existe a necessidade de cálculo do fator  $A_i/A_u$ <sup>8</sup>, que indicará, pela Tabela IV.1 do RCCTE, qual o valor correspondente da variável  $\tau$  na Equação (12). Segundo o RCCTE, o cálculo desta variável pode tornar-se bastante complexo sem a fixação de alguns parâmetros de difícil previsão, pelo que se estabelecerá o valor convencional indicado na tabela IV.1 do mesmo documento.

$$T_a = T_{atm} + (1 - \tau) \cdot (T_i - T_{atm}) \quad (12)$$

Tendo em conta que o valor  $A_u$  é bastante superior ao valor de  $A_i$  teve-se em conta, sem a necessidade de realizar nenhuma operação matemática, que o valor deste fator se encontra entre 0 e 1, ou seja  $0 \leq A_i/A_u < 1$ . Foi desta forma assumido o valor tabelado no RCCTE de 0,95 para a realização do cálculo da temperatura do espaço não aquecido. Obteve-se, para cada uma das estações de climatização, e pela Equação (12), as seguintes temperaturas  $T_a$  apresentadas na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 - Temperatura do ar do espaço não aquecido.

	$T_i$ (°C)	$T_{atm}$ (°C)	$\tau$	$T_a$ (°C)
Estação de aquecimento	20	5	0,95	5,75
Estação de arrefecimento	25	34,2	0,95	33,74

### 5.2.3. Perda de Calor para a Envolvente

O valor de  $Q_t$ , em Watt, corresponde ao somatório de todas as perdas de calor para a envolvente, Equação (13), provocadas pela passagem de calor através das paredes, envidraçados, cobertura, pavimento, e devido à diferença de temperatura entre o exterior e o interior do edifício. Segundo o RCCTE,  $Q_t$  assume valores diferentes para o dimensionamento da estação de aquecimento e arrefecimento, devido essencialmente às diferenças de temperatura verificadas nos diferentes períodos do ano.

$$Q_t = U \cdot A \cdot (T_i - T_{atm}) \quad (13)$$

A variável "U" corresponde ao coeficiente de transmissão térmica<sup>9</sup> do elemento da envolvente em  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ , "A" à área do elemento da envolvente medida pelo interior em  $m^2$  e " $T_i$ " e " $T_{atm}$ " às temperaturas em  $^\circ C$  do ar no interior e no exterior do edifício, respetivamente (Tabela 5.7). Existe ainda a possibilidade de o elemento (edifício) estar em contacto, em algumas faces, com um local não aquecido a uma temperatura  $T_a$  (Tabela 5.8), como por exemplo, armazéns ou arrecadações, garagens, etc., e nesse caso o cálculo das perdas para a envolvente foram calculadas com recurso à Equação (14).

<sup>8</sup> O valor de  $A_i$  corresponde à área do elemento em contacto (que separa ambos) entre o espaço útil interior com a zona não útil, e  $A_u$  toda a área de envolvente exterior da zona não útil que esteja em contacto com o ar, exceto áreas enterradas (Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, 2006).

<sup>9</sup> O coeficiente de transmissão térmica está relacionado com a resistência térmica total de uma determinada superfície, e é indicativo da quantidade de calor que a atravessa (Incropera, Bergman, Lavine, & Dewitt, 2007).

$$Q_t = U.A.(T_i - T_a) \quad (14)$$

O cálculo do coeficiente de transmissão térmica (U), que engloba todas as camadas de materiais constituintes da parede ou janelas, de espessura contante, foi realizado em ambos os casos tendo em conta a Equação (15).

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \quad (15)$$

Em que " $R_j$ " é a resistência térmica da camada " $j$ " em  $\text{m}^2\cdot\text{C}/\text{W}$ , e " $R_{si}$ " e " $R_{se}$ " as resistências térmicas de superfície interior e exteriores em  $\text{m}^2\cdot\text{C}/\text{W}$ , respetivamente. O valor de  $R_{si}$  e  $R_{se}$  encontram-se tabelados no RCCTE, no Anexo VII no Quadro VII.1, e tomam os valores para o sentido horizontal<sup>10</sup> do fluxo de calor de, respetivamente, 0,13 e 0,04  $\text{m}^2\cdot\text{C}/\text{W}$  (ou de 0,13  $\text{m}^2\cdot\text{C}/\text{W}$  para ambos, caso se trate de uma fronteira entre uma zona aquecida a uma temperatura  $T_i$  e uma zona não aquecida a uma temperatura  $T_a$ ).

Quando à cobertura e pavimento do edifício foi assumido o valor máximo admissível de U apresentado no Quadro IX.1 do Anexo IV, de 1,25  $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{C}$ , e referente a elementos exteriores (e interiores caso  $\tau > 0,7$ , que é o caso) em zona corrente, opacos e horizontais, na zona climática I<sub>1</sub>. Quanto à resistência térmica  $R_j$  das paredes, o seu cálculo foi feito tendo em conta os valores de condutividade térmica ( $\text{W}/\text{m}\cdot\text{C}$ ),  $\lambda_j$ , publicados pelo LNEC, no ITE 50 2006, e da espessura da camada do material  $j$  em metros, através da Equação (16) (ISO, 2011).

$$R_j = \frac{l_j}{\lambda_j} \quad (16)$$

### 5.2.3.1. Coeficiente de transmissão térmica.

Para termos de cálculo será considerado que as paredes do edifício, bem como cobertura e chão, são constituídas por duas camadas de argamassa (Quadro I.2 do ITE 50), uma exterior e outra interior, com cerca de 0,03 metros cada, e uma camada interior de tijolo furado (Quadro I.2 do ITE 50), com cerca de 0,25 metros, Fig. 5.6. Será necessário ter também em conta que uma parte do edifício é apenas composta por janelas, de vidro simples, com 0,006 m. E, será nesse caso, considerada uma condutividade térmica,  $\lambda$ , de 1,0  $\text{W}/\text{m}\cdot\text{C}$ , correspondente ao vidro sódico-calcário apresentado na tabela I.2 do ITE 50 (LNEC, 2006).

---

<sup>10</sup> Correspondente ao fluxo unidimensional que passa do interior do edifício para o seu exterior através das paredes laterais do edifício.

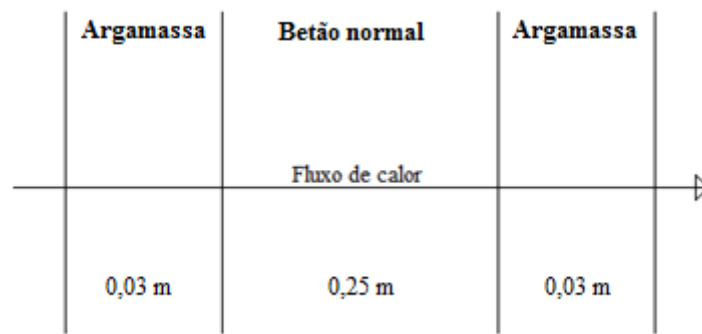


Fig. 5.6 - Corte lateral da parede e sentido do fluxo de calor horizontal.

Foi então aplicada a Equação (16) para o cálculo da resistência térmica em  $\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$  dos diferentes materiais constituintes das paredes do edifício bem como para as suas janelas de vidro simples, apresentados na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 - Resistência térmica dos materiais.

	$\lambda$ ( $\text{W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ )	Largura (m)	$R_j$ ( $\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$ )
Argamassa	0,25	0,03	0,12
Betão normal	1,65	0,25	0,15
Vidro Simples	1,0	0,006	0,006

Foi tido em conta, dada a estruturação do edifício, que três das quatro paredes que constituem a fração de escritórios e a sua cobertura têm fronteiras com o exterior, e que uma das paredes laterais com o interior, um fator que alterará o valor da resistência superficial externa,  $R_{se}$ , considerada<sup>11</sup> no cálculo. A restante parede e o pavimento serão considerados com fronteira para uma zona interior não aquecida. Pela aplicação da Equação (15) no cálculo do coeficiente de condutividade térmica,  $U$ , das diferentes paredes e janelas que constituem o edifício, e tendo em conta as suas fronteiras (com a zona não aquecida ou para o exterior), foram obtidos os seguintes resultados apresentados na Tabela 5.10. O valor de  $\sum R_j$  corresponde ao valor da soma das resistências térmicas da argamassa e betão normal, no caso das paredes, ou ao valor da resistência do vidro simples, no caso das janelas, Tabela 5.9.

Tabela 5.10 - Coeficiente de condutividade térmica,  $U$ , das paredes do edifício.

	Rsi (m².°C/W)	Rse (m².°C/W)	Σ Rj (m².°C/W)	U (W/m².°C)
Parede lateral interna	0,13	= Rsi	0,27	1,88
Restantes paredes	0,13	0,04		2,26
Cobertura	Variáveis já consideradas no valor total de U			1,80
Pavimento				
Janelas internas	0,13	= Rsi	0,01	3,76
Restantes janelas	0,13	0,04	0,01	5,68

<sup>11</sup> Uma das paredes laterais do edifício de escritórios, designada por parede lateral interna daqui para diante, tem fronteira com a zona do armazém. Neste caso será considerada a resistência térmica de superfície exterior de  $0,13 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$  em vez de  $0,04 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$ .

### 5.2.3.2. Área útil de parede e de janelas.

Como foi já referido, o edifício de escritórios representa uma área de 100 m<sup>2</sup>, com um pé médio de 3 m. O edifício tem uma forma geométrica retangular, com duas paredes laterais, cada uma com cerca de 17 m de comprimento, e duas paredes frontais, cada uma com cerca de 5,88 m. É necessário ter ainda em conta que cada uma das paredes laterais tem seis janelas, e as frontais duas, pelo que foi subtraído à variável "A<sub>útil</sub>" (Tabela 5.11), para as paredes, o valor correspondente à multiplicação do número de janelas existentes pela sua área. Serão consideradas, portanto, as seguintes áreas de paredes laterais e frontais, chão, cobertura e janelas apresentadas na Tabela 5.1.

Tabela 5.11 - Área útil das paredes, chão, cobertura e janelas do escritório.

	Largura (m)	Pé médio (m)	A <sub>útil</sub> (m <sup>2</sup> )
Parede lateral	25	3	66
Paredes frontais	10	3	27
Cobertura	Não aplicável		250
Pavimento	Não aplicável		250
Janelas	1,5	1	1,5

É necessário referir que para o cálculo das perdas de calor pelas janelas, internas ou restantes janelas, foi assumida uma área correspondente ao produto do número de janelas pela sua área útil (apresentada na tabela anterior).

### 5.2.3.3. Perda para a envolvente.

Tendo em conta os valores de temperatura apresentados na Tabela 5.7 e Tabela 5.8, e recorrendo-se às Equações (13) e (14), esta última utilizada no caso do pavimento e parede e janelas laterais internas, foram calculados as perdas totais de calor para a envolvente, em Watt, de cada uma das fronteiras do edifício apresentada na Tabela 5.12.

Tabela 5.12 - Perda para a envolvente, Q<sub>t</sub>, em Watt.

	Perda para a envolvente, Q <sub>t</sub> (W)	
	Aquecimento (W)	Arrefecimento (W)
Parede lateral interna	1.769,5	-1.085,3
Parede lateral	2.242,3	-1.375,3
Paredes frontais	917,3	-562,6
Cobertura	4.687,5	-2.875,0
Pavimento	4.453,1	-2.731,3
Janelas laterais internas	482,1	-295,7
Restantes janelas	1.278,4	-784,1
Total	15.830,2	-9.709,2

Como se pode verificar pelos dados apresentados na tabela acima, foram obtidos valores positivos para a estação de aquecimento e negativos para a estação de arrefecimento. Esta troca

de sinais está relacionada com o sentido<sup>12</sup> do fluxo de calor, isto é, no período de aquecimento o calor desloca-se de dentro para fora do edifício, enquanto no período de arrefecimento assume o sentido inverso.

#### 5.2.4. Ganhos Internos Sensíveis

Os ganhos sensíveis que resultam de fontes internas do edifício incluem todas as fontes de calor existentes na fração autónoma e que contribuam para o seu aquecimento, excluindo os ganhos introduzidos pelo próprio sistema de climatização. Estão incluídos, nomeadamente, os ganhos associados ao metabolismo dos ocupantes e o calor dissipado pelos equipamentos em utilização bem como pelos dispositivos de iluminação. Este valor foi considerado constante tanto para a estação de aquecimento como de arrefecimento, tomando no entanto valor positivo ou negativo, respetivamente, em cada uma das situações. A variabilidade do sinal resulta da possibilidade de utilização, ou não, do calor produzido para a climatização do espaço. Torna-se claro que o calor produzido, pelos fatores acima descritos, terá um impacto positivo na estação de aquecimento, reduzindo as suas necessidades, e um impacto negativo na estação de arrefecimento, uma vez que este contribuirá para o aquecimento do espaço.

Nesta secção serão descritos todos os elementos que possam contribuir para o aquecimento do espaço, incluindo o número de pessoas, tendo em conta a taxa metabólica resultante da sua atividade. Serão, nesse caso, tidos em conta os dez computadores, de treze ocupantes constantes bem como os ganhos provenientes da iluminação do espaço. Os valores utilizados são os que se encontram tabelados no ASHRAE, já que estes são bastante precisos ou aproximações bastante acertadas da realidade (ASHRAE, 2005) (ASHRAE, 2009). Foram separados os ganhos internos sensíveis da estação de aquecimento e de arrefecimento, uma vez que no caso do dimensionamento da estação de aquecimento não foi considerada qualquer ocupação do espaço. Foram, no entanto, considerados os ganhos internos sensíveis provocados pelo material de escritório em modo poupança de energia.

##### 5.2.4.1. Aquecimento.

Os valores assumidos de calor sensível introduzido no espaço foram retirados das tabelas 8 e 9 do capítulo 30.4 do ASHRAE (2005), e correspondem ao valor médio de ganhos de calor produzidos por um computador (CPU) típico, com um monitor pequeno (de 16 a 18 polegadas) e a uma impressora pequena a laser, Tabela 5.13. É necessário referir que se assumiu que os computadores e respetivos monitores bem como as impressoras se encontram em modo de poupança de energia. Obtiveram-se os seguintes ganhos internos sensíveis na estação de aquecimento, Tabela 5.14.

Tabela 5.13 - Ganhos internos sensíveis do material eletrónico sem ocupantes.

	Unidades	W/unidade	W
CPU	10	20	200
Monitor	10	0	0
Impressora	4	10	40

<sup>12</sup> Temperaturas mais elevadas estão associadas a energias moleculares mais elevadas e durante o choque entre moléculas vizinhas, que ocorre constantemente, há uma transferência de energia das moléculas mais energéticas para as menos energéticas. Quando existe um gradiente de temperatura (neste caso entre o interior e o exterior do edifício) a transferência de energia por condução ocorre na direção da diminuição da temperatura, ou seja, o fluxo de transferência de calor dá-se da zona mais quente para a mais fria (Incropera, Bergman, Lavine, & Dewitt, 2007).



Tabela 5.14 - Ganhos internos de calor sensível na estação de aquecimento.

Ganhos Internos Sensíveis, $Q_{is}$ (W)
240

5.2.4.2. *Arrefecimento.*

Foram considerados, da mesma forma, os seguintes ganhos internos sensíveis, causados pelos seguintes dispositivos eletrónicos e pelo número de ocupantes existentes no edifício de escritórios apresentados na Tabela 5.15.

Tabela 5.15 - Ganhos internos sensíveis do material eletrónico com ocupantes.

	Unidades	W/unidade	$W_{sensíveis}$
Ocupantes	10	70	700
CPU	10	55	550
Monitor	10	55	550
Impressora	4	75	300

O valor, em W/unidade, de calor sensível libertado pelos ocupantes foi retirado da Tabela 1 do capítulo 18.4 de (ASHRAE, 2009) para um grau de atividade sentado num escritório típico. Os restantes valores foram retirados novamente das tabelas 8 e 9 do capítulo 30.4 do ASHRAE (2005), considerando-se no caso da impressora uma taxa de impressão de uma página por minuto. É necessário referir que se assumiu que os computadores e respetivos monitores estão em funcionamento constante e em condições estacionárias. Foram da mesma forma assumidos os seguintes ganhos internos sensíveis provocados pela iluminação do espaço, tal como apresentado na Tabela 5.16.

Tabela 5.16 - Ganhos internos sensíveis da iluminação.

	$P_{instalada}$ (W)	Fração de espaço	$W_{sensíveis}$
Iluminação	230	0,69	158,7

Neste caso foi considerado o valor de potência LED instalada para iluminação na fração de escritórios, Tabela 4.13. Foi necessário considerar uma variável de "fração de espaço" que corresponde à parte do ganho de calor, produzido pela iluminação, que atinge a sala, tendo sido assumido o valor médio (aceite como aproximação suficientemente correta pelo ASHRAE), para uma luminária sem proteção de vidro, Tabela 5.16. Foi desta forma, e pelo cálculo do somatório dos vários ganhos internos sensíveis, obtido o seguinte valor de ganhos internos sensíveis para a estação de arrefecimento apresentado na Tabela 5.17.

Tabela 5.17 - Ganhos internos de calor sensível na estação de arrefecimento.

Ganhos Internos Sensíveis, $Q_{is}$ (W)
2258,7

5.2.4.3. *Ganhos internos latentes.*

Para além dos ganhos sensíveis provocados pelos fenómenos anteriormente descritos, existe ainda, na estação de arrefecimento, a necessidade de eliminar os ganhos internos latentes do espaço que são provocados pelos seus ocupantes. Serão dessa forma calculados, no final da Secção 5.2.7.2, estes ganhos que serão posteriormente somados às necessidades de climatização da estação de arrefecimento, determinando-se assim as suas necessidades totais.

### 5.2.5. Ganhos de Ventilação

Devido a razões higiénicas e de conforto dos ocupantes existe uma necessidade permanente de ventilação dos edifícios com um caudal mínimo de ar. Foi, neste caso, tomado o pressuposto que a fração autónoma em estudo tem características construtivas que lhe permitam garantir, por ventilação natural, uma taxa mínima necessária de 0,6 renovações por hora (r.p.h), correspondentes ao valor mínimo de higiene e conforto dos ocupantes do edifício em conformidade com a NP 1037-1. O valor de  $Q_v$ , em Watt, está associado às perdas de calor que resultem da renovação de ar no interior do edifício e são calculadas através da Equação (17) (Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, 2006).

$$Q_v = \rho \cdot c_p \cdot R_{ph} \cdot V (T_i - T_{atm}) / 3600 \quad (17)$$

Em que " $\rho$ " é a massa volúmica do ar em  $\text{kg/m}^3$ , " $c_p$ " o calor específico do ar em  $\text{J/Kg} \cdot ^\circ\text{C}$ , " $R_{ph}$ " o número de renovações horárias do ar interior em  $\text{renovações} \cdot \text{h}^{-1}$  e " $V$ " o volume útil interior da fração autónoma em  $\text{m}^3$ , dado pela multiplicação da área útil pelo pé médio da fração autónoma, de  $750 \text{ m}^3$ . O termo  $\rho \cdot c_p / 3600$  assume o valor de  $0,34 \text{ W/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ , tendo sido obtidos os seguintes resultados para cada uma das estações de climatização recorrendo-se à Equação (17), Tabela 5.18.

Tabela 5.18 - Ganhos de ventilação,  $Q_v$ , em Watt.

Ganhos Ventilação, $Q_v$ (W)	
Aquecimento (W)	Arrefecimento (W)
2.295,0	-1.407,6

Tiveram-se ainda em conta, para a realização deste cálculo, os valores de área útil do pavimento da fração autónoma bem como o pé médio das suas paredes laterais, apresentados na Tabela 5.11. Tal como as perdas para a envolvente  $Q_i$ , os ganhos de ventilação  $Q_v$  representam perdas de calor por parte do sistema, devido à temperatura do ar novo que entra no espaço, e que é mais baixa na estação de aquecimento e mais alta na estação de arrefecimento, que a do ar interior.

### 5.2.6. Ganhos Solares

A condições climatéricas exteriores são bastante relevantes para dimensionar o sistema de climatização uma vez que estas influenciam diretamente as necessidades internas do edifício, aquecimento e arrefecimento. Como foi já referido, as instalações da Provida encontram-se no concelho de Sintra, logo segundo o Quadro III.1 do anexo III do RCCTE situam-se na zona climática de Inverno  $I_1$  e de Verão  $V_1$ , com um número de 1430 graus dia<sup>13</sup> (GD) e 6 meses de duração da estação de aquecimento. Pelo Quadro III.8, do anexo referido, verifica-se que a energia solar média mensal incidente numa superfície vertical ( $G_{sul}$ ) orientada a sul na estação de aquecimento, no Continente, corresponde a  $108 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{mês}$  na estação de aquecimento. Foram, neste caso, considerados novamente os valores fornecidos pela base de dados da (EnergyPlus, 2014), para Lisboa, e medidos pelo INETI, de radiação solar incidente direta e indireta média para a pior hora do mês de referência, Tabela 5.6, na estação de arrefecimento.

<sup>13</sup> O número de graus dias caracterizam o quão severo é o clima durante o Inverno (estação de aquecimento) e é igual ao somatório de todas as diferenças positivas entre a temperatura base ( $20^\circ\text{C}$ ) e a temperatura do ar exterior, com base em valores horários da temperatura do ar.

Tabela 5.19 - Intensidade média da radiação, estação de arrefecimento.

Hora	Mês	Radiação Direta (W/m <sup>2</sup> )	Radiação Difusa (W/m <sup>2</sup> )
12:00	8	727	181

Os ganhos solares  $Q_s$ , em watt, são calculados tendo em conta a radiação solar incidente no local bem como todas as variáveis que possam condicionar a sua passagem através dos vãos envidraçados existentes no edifício, tal como na Equação (18).

$$Q_s = A_v \cdot (F_s \cdot F_g \cdot F_w) \times (R_{directa} + R_{difusa} \cdot F_f) \cdot g_{\perp} \quad (18)$$

Em que " $A_v$ " corresponde à área total do vão envidraçado em m<sup>2</sup>, " $F_s$ " ao fator de obstrução do vidro, " $F_g$ " à fração envidraçada, " $F_w$ " ao fator de correção devido à variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar, " $R_{directa}$ " à radiação direta incidente no edifício, " $R_{difusa}$ " à radiação difusa incidente no edifício, " $F_f$ " ao fator de forma entre a janela e o céu e " $g_{\perp}$ " ao fator solar do vão envidraçado para a radiação incidente na perpendicular.

Por questões de simplificação foi utilizada a aproximação sugerida pelo capítulo 4.3.1.2 do Anexo IV do RCCTE, em que é considerado um valor para o produto de  $F_s$ ,  $F_g$  e  $F_w$  de 0,46. Foi tido em consideração um fator de forma médio (de 0,5), uma vez que este caracteriza o nível de exposição da janela à radiação difusa, ao qual está associada alguma complexidade de medição/cálculo. O fator solar do vão envidraçado é o valor que representa a relação entre a energia solar que incide na direção normal do vão envidraçado com aquela que é realmente transmitida para o interior do edifício, e será assumido, uma vez que não existem quaisquer dispositivos de sombreamento, o valor utilizado no sector residencial referente à utilização de cortinas interiores muito transparentes de cor clara para um vidro simples incolor, de 0,7.

#### 5.2.6.1. Aquecimento.

Para o dimensionamento da estação de aquecimento não foram considerados quaisquer  $Q_s$ . Esta aproximação é um sobredimensionamento aceitável das necessidades de climatização neste período já as necessidades de aquecimento do edifício diminuem em função dos seus ganhos solares. No entanto, e dado a orientação já referida do edifício, considerar-se-á que na estação de aquecimento a radiação solar incidente no edifício não é suficiente para ter impacto nas suas condições de climatização, e nesse caso  $Q_s = 0$  W.

#### 5.2.6.2. Arrefecimento.

Para o cálculo dos ganhos solares,  $Q_s$ , da estação de arrefecimento foi utilizada a Equação (18), em que foram utilizados os valores de intensidade média da radiação, Tabela 5.19, para cada uma das fachadas da fração de escritórios. Não foram considerados quaisquer ganhos solares na fachada a Sul da fração de escritórios já que esta tem fronteira com a zona de armazém do edifício, Fig. 4.1. Da mesma forma, não foram assumidos quaisquer ganhos solares provenientes da incidência de radiação direta nas restantes fachadas já que o período de incidência é bastante reduzido, verificando-se apenas por pequenos períodos ao nascer e pôr-do-sol, em que os ganhos internos solares podem ser desprezados<sup>14</sup> (Tabela 5.20).

<sup>14</sup> Durante esse período diário a temperatura exterior do edifício é consideravelmente mais baixa que nas horas de pico solar, o que significa que o sistema de climatização não estará a funcionar ao seu máximo e poderá compensar quaisquer ganhos (que serão mínimos) relacionadas com a incidência solar nesse período.

Tabela 5.20 - Variáveis utilizadas para o cálculo de  $Q_s$ , em Watt.

Fachada	N.º Janelas	A <sub>janelas</sub> (m <sup>2</sup> )	Radiação Direta (W/m <sup>2</sup> )	Radiação Difusa (W/m <sup>2</sup> )
W	2	3	0	181
N	6	9		
E	2	3		

O valor de  $Q_{s,total}$  será igual ao somatório dos ganhos solares de todas as fachadas (j) do edifício que estejam expostas à incidência da radiação solar, Equação (19).

$$Q_{s,total} = \sum_j Q_{s,j} \quad (19)$$

Pela aplicação da Equação (18) foram obtidos os seguintes valores de ganhos solares, em Watt, para a estação de arrefecimento, apresentados na Tabela 5.21.

Tabela 5.21 - Ganhos solares,  $Q_s$ , em Watt, estação de arrefecimento.

Fachada	$Q_s$ (W)	Ganhos solares totais, $Q_{s,total}$ (W)
W	87	437
N	262	
S	87	

Apesar do valor de  $Q_s$  apresentado ser positivo este assume um valor negativo no cálculo das necessidades de arrefecimento do edifício, Equação (11), já que representa uma quantidade de calor, em Watt, que terá que ser retirada do mesmo.

## 5.2.7. Necessidades de Climatização Totais

### 5.2.7.1. Necessidades de climatização sensíveis.

Tendo em conta os resultados obtidos, e apresentados neste documento, foi feito o somatório de todos os ganhos e perdas de calor sensíveis do sistema para que se determinassem as necessidades totais de climatização do edifício, em watt. Este valor será tido em conta aquando da escolha do sistema de climatização a ser utilizado, na medida em que a sua potência de funcionamento deverá ser suficiente para suprir a necessidade calculada para ambas as estações, de aquecimento e arrefecimento.

Tabela 5.22 - Necessidades totais de climatização sensível.

Necessidades de climatização sensível, $N_{cs}$ (W)	
Aquecimento (W)	Arrefecimento (W)
18.125	-13.813

### 5.2.7.2. Necessidades de climatização latentes.

É necessário distinguir dois conceitos de ganhos de calor, os sensíveis e os latentes. Segundo (ASHRAE, 2009), os ganhos de calor sensível correspondem à quantidade de calor que é introduzida diretamente no espaço por condução, convecção e/ou radiação (por exemplo pela incidência solar, ou pela iluminação do espaço). Ao mesmo tempo, os ganhos de calor latente ocorrem quando é adicionada humidade ao espaço (por exemplo, através do vapor emitido pelos ocupantes ou pelo equipamento). As necessidades de climatização latentes são calculadas recorrendo-se à Equação (20) (Chadderton, 2004).

$$N_{cl} = \dot{m} \times (w_{máx} - w_{int}) \times i_{vap} \quad (20)$$

Com " $N_{cl}$ " corresponde às necessidades de calor latentes do edifício em W, " $\dot{m}$ " ao fluxo de massa da mistura em kg/s, " $w_{máx}$ " à humidade absoluta máxima interior  $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ar}}$ , " $w_{int}$ " à humidade absoluta interior e " $i_{vap}$ " ao calor latente de evaporação da água em  $\text{kJ}/\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}$  no ar a uma temperatura de  $20^\circ\text{C}$  e pressão barométrica de 1013,15 mbar. Em (Chadderton, 2004) está definido o valor de  $i_{vap}$  assumido para os cálculos, que será de 2453,61 kJ/kg. Para manter um rácio de humidade constante, o vapor de água existente no espaço tem que condensar durante o arrefecimento e ser removido à mesma taxa, " $\dot{m}$ ", com que é inserido no espaço, Equação (21).

$$\dot{m} \times w_{int} = \dot{m} \times w_{ext} + Q_{il} \quad (21)$$

Em que " $w_{ext}$ " corresponde à humidade absoluta do exterior no dia considerado para o dimensionamento da estação de arrefecimento, " $Q_{il}$ " a taxa de vaporização necessária para condensar o vapor de água e " $\dot{m}$ " ao fluxo de massa ao qual o ar é inserido e removido do espaço. No entanto, a incógnita da Equação (21) é a humidade absoluta interior, uma vez que é necessário conhecer-se o seu valor para realizar o cálculo das necessidades de climatização latente. A taxa de vaporização,  $Q_{il}$ , corresponde à quantidade de água perdida por uma pessoa pelo processo de evaporação que ocorre na pele e nos pulmões em kg/s, e é dada pela Equação (22) (Chadderton, 2004).

$$Q_{il} = \frac{G_{il}}{i_{vap}} \quad (22)$$

Com " $G_{il}$ " corresponde aos ganhos internos latentes, provocados pelos ocupantes do espaço. De acordo com a Tabela 1 do Capítulo 18.4 de (ASHRAE, 2009), para um grau de atividade correspondente a estar sentado, num escritório (típico), o ganhos internos latentes provocados por cada ocupante é de 50 W. O que significa, pela aplicação da Equação (22), que a taxa de vaporização necessária para condensar o vapor de água produzido pela presença de dez pessoas é de 500 kg/s.

O caudal de renovação de ar,  $\dot{V}$ , é calculado pela multiplicação do volume do espaço ( $750 \text{ m}^3$ ) pelo número de renovações de ar por segundo, Tabela 5.23. E que corresponderá, pela multiplicação do caudal de renovação do ar pela densidade do ar (a  $20^\circ\text{C}$ ), a um determinado fluxo de massa ( $\dot{m}$ ) de inserção e remoção do ar do espaço, Tabela 5.24.

Tabela 5.23 - Caudal volúmico de entrada e saída de ar.

RPH	RPS	$V_{\text{fracção}} [\text{m}^3]$	$\dot{V} [\text{m}^3/\text{s}]$
0,6	1,7E-04	750	0,125

Tabela 5.24 - Caudal mássico de remoção de ar.

$\rho_{\text{ar}} (\text{kg}/\text{m}^3)$	$\dot{m} (\text{kg}/\text{s})$
1,2	0,15

Tendo em conta as condições de temperatura e humidade relativa exteriores utilizadas no dimensionamento de arrefecimento, Tabela 5.6, e recorrendo novamente ao gráfico psicométrico, Fig. 5.5, verifica-se uma humidade absoluta (AH) exterior,  $w_{ext}$ , igual a 12,42 g/kg. Aplicando-se agora a Equação (21) para o cálculo da humidade absoluta interior ( $w_{int}$ )

obtem-se um valor de cerca de 12,42 g/kg, Tabela 5.25. A não variação do valor de humidade absoluta entre o interior e o exterior do edifício pode ser explicada pela pequena taxa de vaporização,  $Q_{ii}$ , proveniente da baixa densidade populacional do edifício.

Tabela 5.25 - Humidade absoluta interior e exterior, g/kg.

$W_{ext}$ (g/kg)	$W_{int}$ (g/kg)
12,42	12,42

Para o cálculo das necessidades de arrefecimento latente, Equação (20), será necessário ter em conta o valor máximo permitido de humidade absoluta interior,  $w_{max}$ . De acordo com o RCCTE o valor máximo de humidade relativa interior é correspondente a 50% para uma temperatura de 25°C, Tabela 5.7. O que corresponde, recorrendo ao gráfico psicrométrico, a uma humidade absoluta interior máxima ( $w_{máx}$ ) de cerca de 10,03 g/kg.

Tabela 5.26 - Conversão da humidade absoluta de g/kg para kg/kg.

$W_{int}$ (kg/kg)	$W_{int,max}$ (kg/kg)
0,012421	0,01003

Aplicando a Equação (20), e utilizando os valores de humidade absoluta convertidos de  $g_{H_2O}/kg_{ar}$  para  $kg_{H_2O}/kg_{ar}$ , Tabela 5.26, prevêem-se as seguintes necessidades de calor latente para o espaço apresentadas na Tabela 5.27.

Tabela 5.27 - Necessidades de climatização latente, estação de arrefecimento.

Necessidades de Climatização Latente, $N_{cl}$ (W)
-880

#### 5.2.7.3. Necessidades de climatização totais.

Somando as necessidades de climatização latentes às sensíveis, para a estação de arrefecimento, obtiveram-se as seguintes necessidades de climatização totais,  $N_c$ , apresentadas na Tabela 5.28.

Tabela 5.28 - Necessidades de climatização totais,  $N_c$ .

Necessidades de climatização totais, $N_c$ (W)	
Aquecimento (W)	Arrefecimento (W)
18.125	-14.693

Recorreu-se, então, à Equação (11) para a realização do cálculo das necessidades totais do edifício de escritórios por unidade de área de pavimento, de 250 m<sup>2</sup> (Tabela 5.11), do pavimento. Foram obtidos os seguintes resultados apresentados na Tabela 5.29.

Tabela 5.29 - Necessidades de climatização por área útil da fração autónoma.

Necessidades de climatização por área pavimento, $N_c$ (W/m <sup>2</sup> )	
Aquecimento (W/m <sup>2</sup> )	Arrefecimento (W/m <sup>2</sup> )
72,5	-58,8

### 5.2.8. Sistema de Climatização

O edifício de escritórios encontra-se dividido em oito gabinetes distintos, que representam uma área útil<sup>15</sup>, da fração total de escritórios, de cerca de 80%, ou seja, com 200 m<sup>2</sup>. Tendo em conta os valores determinados para as necessidades de aquecimento por área total de pavimento do edifício, Tabela 5.29, prevêem-se as seguintes necessidades totais de climatização na área útil de escritórios da fração apresentadas na Tabela 5.30.

Tabela 5.30 - Necessidades totais de climatização (kW<sub>c</sub>) dos gabinetes.

Aquecimento (kW <sub>c</sub> )	Arrefecimento (kW <sub>c</sub> )
14,5	-11,8

Dadas as exigências da empresa em relação às quebras do período de trabalho e dada a existência de um sistema de ar condicionado na fração de escritórios (que garante que a arquitetura do edifício suporta este tipo de sistema), é sugerida a utilização de um sistema semelhante (em termos construtivos) ao já existente, já que não ocorreria um transtorno, provocado pela construção do sistema, tão elevado quanto o da implementação de um sistema totalmente novo, como seria o caso da instalação de uma bomba de calor (BC) ou de um sistema de aquecimento central a gás natural.

#### 5.2.8.1. Necessidades de climatização por divisão.

É necessário introduzir, neste caso, a notação Watt calorífico, W<sub>c</sub>, uma vez que se tratam de necessidades caloríficas que não traduzem necessariamente o consumo de energia elétrica, neste caso, do sistema de climatização devido ao seu COP/EER, referido no Capítulo 3.4.3. Face às necessidades demonstradas e à especificidade da instalação do sistema, é sugerida a instalação de um sistema de ar-condicionado, centralizado (*multisplit*), de alto rendimento.

Uma vez que existem diversas divisões, com necessidades de climatização diferentes, essencialmente relacionadas com a sua área, serão consideradas as seguintes necessidades por divisão da fração de escritórios apresentadas na Tabela 5.31.

Tabela 5.31 - Área e necessidades de climatização de cada gabinete.

	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}
Área Total (m <sup>2</sup> )	200							
Área (m <sup>2</sup> )	40	10	20	20	20	20	35	35
% Área	20%	5%	10%	10%	10%	10%	18%	18%
Aquecimento (kW <sub>c</sub> )	2,9	0,7	1,5	1,5	1,5	1,5	2,5	2,5
Arrefecimento (kW <sub>c</sub> )	-2,4	-0,6	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-2,1	-2,1

{1} Sala de reuniões; {2} Sala de contabilidade; {3}{4}{5}{6} Escritórios independentes;  
{7}{8} Escritórios da direção.

É necessário referir que, estas necessidades traduzem uma aproximação às necessidades reais. Foi admitido, neste cálculo, que todos os gabinetes têm a mesma ocupação média, o que de facto não é uma realidade já que se tratam de dez pessoas divididas apenas por sete gabinetes (a sala de reuniões encontra-se por norma desocupada). Crê-se que esta seja uma aproximação que

<sup>15</sup> A área útil da fração de escritórios corresponde ao espaço ocupado por gabinetes, ou seja, sem considerar os corredores existentes entre os mesmos.

não terá um impacto, muito significativo, nas necessidades de climatização individual de cada um dos gabinetes, essencialmente devido à sua baixa taxa ocupacional diária.

#### 5.2.8.2. Sistema AVAC atual.

Apesar da referida utilização de radiadores elétricos para o aquecimento de algumas das divisões da fração de escritórios da empresa, existe atualmente um sistema AVAC instalado nesse espaço. O sistema existente no edifício é um sistema de ar-condicionado descentralizado, isto é, que serve singularmente espaços pequenos através de uma ligação direta a uma unidade exterior instalada numa área adjacente à unidade interior. Este tipo de sistema, apesar do benefício do seu custo inicial ser mais baixo (face ao de um sistema descentralizado) devido à normalização das suas características de instalação, apresenta um tempo de vida útil mais baixo que o de um sistema centralizado bem como uma menor eficiência energética durante o seu funcionamento (ASHRAE, 2008).

#### 5.2.8.3. Sistema AVAC centralizado.

Será proposta a instalação de um sistema de ar-condicionado centralizado, um tipo de sistema que tem a capacidade de servir espaços múltiplos com base, apenas, numa localização, em oposição ao que acontece com os sistemas descentralizados. Usualmente para a instalação de um sistema AVAC centralizado são necessários alguns cuidados e coordenação que não são necessários na instalação de um sistema descentralizado. No entanto, a disposição centralizada do equipamento primário do sistema garante-lhe algumas vantagens, essencialmente no que toca à manutenção, já que existem menos componentes do sistema a verificar. Um sistema centralizado, geralmente, opera com uma maior eficiência e menores custos de manutenção que os sistemas individuais, características que devem ser avaliadas a longo termo quando se pretende fazer uma análise de custos de ambos os sistemas (ASHRAE, 2008).

Optou-se nesse caso pela escolha de um equipamento da marca Zantia, com duas unidades exteriores, *Multisplit Montana Plus 27/4*, com a possibilidade de ligação a quatro unidades interiores cada (Tabela 5.32), cujas especificações se encontram no Anexo V. As oito unidades interiores sugeridas são da mesma marca (o que garante, teoricamente, um melhor desempenho do sistema devido à sua compatibilidade), do modelo *Multisplit Montana Plus R 9*, também no Anexo V. As unidades interiores seriam distribuídas por cada uma das divisões existentes uma vez que a sua potência calorífica de saída máxima de aquecimento/arrefecimento é suficiente para suprimir as necessidades de cada uma destas, Tabela 5.32.

Tabela 5.32 - Unidades interiores e exteriores do sistema.

Modelo	Unidade Exterior		Unidades Interiores
	Montana 27/4 - I	Montana 27/4 - II	Montana R 9 (8 uni.)
P <sub>saída</sub> Aquec. (kW <sub>e</sub> /uni.)	8,79		3,22
P <sub>saída</sub> Arref. (kW <sub>e</sub> /uni)	7,91		2,64
Divisão	{1}; {2}; {3}; {4}	{5}; {6}; {7}; {8}	Uma unidade por divisão

As unidades exteriores apresentam um COP de 3,6 e um ERR de 3,20, com o consumo de potência elétrica, ou potência de entrada (P<sub>entrada</sub>), de aquecimento e arrefecimento apresentado na Tabela 5.33. Conclui-se, dessa forma, que as duas unidades exteriores, em simultâneo e em funcionamento máximo, consomem uma potência elétrica de entrada de cerca de 4,88 kW<sub>e</sub> para aquecimento e 4,94 kW<sub>e</sub> para arrefecimento.



Tabela 5.33 - Consumo de potência elétrica por unidade exterior.

	Unidade Exterior
Modelo	Montana 27/4
P <sub>entrada</sub> Aquec. (kW <sub>e</sub> /uni.)	2,44
P <sub>entrada</sub> Arref. (kW <sub>e</sub> /uni.)	2,47

Tendo em conta que as diferentes divisões têm diferentes necessidades de climatização, Tabela 5.31, as unidades interiores instaladas funcionariam com potências caloríficas diferentes para manter os diferentes espaços à temperatura interior desejada. Tendo em conta as potências de arrefecimento/aquecimento máximas das unidades exteriores, cada unidade interior poderá debitar em média as seguintes potências caloríficas, Tabela 5.34.

Tabela 5.34 - Potência de saída média (uni. interior) por unidade exterior.

	Unidade Interior
Modelo	Montana R 9
P <sub>saída,média</sub> Aquec. (kW <sub>e</sub> /uni.)	2,20
P <sub>saída,média</sub> Arref. (kW <sub>e</sub> /uni.)	1,98

Verifica-se na tabela anterior que a potência média de saída (kW<sub>e</sub>) permitida em cada unidade interior é, nomeadamente nas divisões {1}, {7} e {8}, inferior às necessidades da divisão, apresentadas na Tabela 5.31. No entanto, e dado que as restantes divisões têm necessidades de aquecimento/arrefecimento inferiores à potência média máxima permitida calculada para cada unidade interior, é possível concluir que a potência calorífica das unidades exteriores propostas será suficiente para suprimir as necessidades de cada divisão, na medida em que será utilizada uma menor potência de aquecimento/arrefecimento na grande maioria das divisões, deixando assim disponível a potência de funcionamento necessária para suprir as necessidades das divisões {1}, {7} e {8}. É, ainda, necessário referir que a divisão {1}, referente à sala de reuniões, se encontra desocupada durante um grande período de tempo, diminuindo bastante a quantidade de energia consumida pelo sistema de climatização nessa divisão, garantindo que a potência disponível para ser entregue nas outras divisões será suficiente ao longo de todo o ano.

### 5.3. Outras MRCE

Nesta secção serão descritas algumas das medidas transversais e específicas que são sugeridas para uma futura implementação no edifício da Provida sob o pretexto, e com o principal objetivo, de aumentar a sua eficiência energética.

As diferentes medidas propostas serão apresentadas em função do local da sua aplicabilidade, de forma a simplificar e demonstrar os impactos que se espera que estas tenham no consumo de energia elétrica do edifício. Este será, então, dividido em duas frações autónomas distintas: o armazém (Secção 5.3.1), que incluirá o espaço reservado ao *stock* e processamento de alimentos, Fig. 4.2; e a fração de escritórios e receção (Secção 5.3.2), que incluirá todas as divisões da fração de escritórios situadas no segundo andar, e a receção do edifício no primeiro andar. Serão, para além disso, apresentadas as linhas base para a criação de um programa comportamental na empresa (Secção 5.3.3). É necessário referir que a zona da receção, com uma área de cerca de 4 m<sup>2</sup>, não foi considerada no estudo de climatização por estar situada no primeiro andar do edifício separada da fração de escritórios. No entanto, tendo a presença permanente de uma única pessoa, será considerada em termos da aplicação de algumas medidas adicionais que permitam melhorar as condições do espaço.

### 5.3.1. Armazém

A fração considerada como zona de armazém é aquela que apresenta maiores dimensões no edifício, representando uma totalidade de cerca de 82% da sua área útil total. Algumas das medidas propostas poderão ter um impacto direto no tempo de retorno de algumas das medidas já aplicadas no edifício, nomeadamente no sistema de iluminação. Uma diminuição direta no consumo de energia elétrica do edifício traria inerente não só uma maior sustentabilidade da empresa mas também uma diminuição, por mais significativa que fosse, da fatura associada a este consumo.

#### 5.3.1.1. Sensores de movimento.

Tendo em conta as suas dimensões, existe, nesta área, algum excesso de consumo de energia elétrica, essencialmente relacionado com a iluminação, que pode ser reduzido. Algumas zonas do edifício, mais precisamente na zona sul, encontram-se parcialmente vazias durante grande parte do período de trabalho, pelo que a sua necessidade de iluminação é quase nula nesse período. Tendo em conta o referido, uma das medidas propostas seria a utilização de sensores de movimento, sensíveis aos raios infravermelhos, que detetem o movimento e acionem a iluminação apenas e quando estritamente necessário.

#### 5.3.1.2. Sensores de iluminação.

Da mesma forma existe, em algumas das salas adjacentes ao armazém, e em alguns períodos do dia, luminosidade natural suficiente para manter as condições ideais de trabalho, e como tal propõe-se a utilização de sensores de iluminação<sup>16</sup> que façam uma maior gestão do consumo de energia elétrica associado a esse período, isto é, que permitam a regulação do fluxo luminoso da iluminação artificial em função do potencial de aproveitamento da luz natural e consoante as necessidades do espaço.

#### 5.3.1.3. Cobertura e iluminação.

O armazém tem um pé medio de cerca de vinte metros. O sistema de iluminação principal, estudado no Capítulo 4, encontra-se instalado a cerca de dezoito metros de altura, como se pode verificar na Fig. 4.2 - Zona principal do armazém. A uma altura tão elevada existem numerosas perdas (de eficácia) de iluminação desde que os fotões saem das luminárias até que estes cheguem ao plano de trabalho, que se encontra a cerca de um metro e meio do chão, onde estes são necessários. Existem, na zona sul do armazém, prateleiras de produtos que atingem os dezanove metros, no entanto em grande parte do armazém estas atingem apenas os três a quatro metros, existindo por isso a possibilidade da realização de um estudo de viabilidade da diminuição da altura do sistema de iluminação pela construção de um teto falso, ou descendo a estrutura de suporte das armaduras, a cerca de quatro metros de altura nessa zona.

Apesar da consideração feita, esta seria uma medida de possível baixa viabilidade económica, essencialmente devido aos seus custos e complexidade de obra, mas também pelo diminuto retorno anual que seria esperado. Para além disso, esta seria uma obra que causaria bastante transtorno ao funcionamento da empresa. No entanto fica registada, em termo de consideração, neste documento a possibilidade de realização de um estudo mais detalhado que viabilize ou não esta medida.

---

<sup>16</sup> Os sensores de iluminação detetam, através de fotocélulas, quando o ambiente está em baixo nível de luz e ligam o sistema de iluminação artificial.

### 5.3.2. Escritórios e Receção

As medidas apresentadas nesta secção teriam um impacto direto nas necessidades de climatização da fração de escritórios e receção, cujo sistema é responsável por grande parte do seu consumo elétrico. Como nota, assinala-se o facto de que a implementação de qualquer uma destas medidas após a instalação de um novo sistema de climatização (mediante a aceitação da direção) representaria um sobredimensionamento do mesmo. Seria aconselhável ter em conta as medidas apresentadas nesta secção antes da instalação de um novo sistema de climatização, já que estas poderiam reduzir bastante o custo inicial do sistema.

#### 5.3.2.1. Vidros duplos.

A substituição dos vidros simples, referidos na secção 5.2.3.2, existentes na fração de escritórios da Provida por vidros duplos representaria uma diminuição relativa das perdas/ganhos de calor para a envolvente do edifício,  $Q_t$ , nas estações de aquecimento e arrefecimento, respetivamente.

A resistência térmica, em  $m^2 \cdot ^\circ C/W$ , de um vidro simples com seis milímetros é bastante reduzida, Tabela 5.9. Segundo (Chadderton, 2004) num vidro duplo esta resistência torna-se desprezável, e a resistência total do vidro passa a estar diretamente dependente da resistência do ar (ou outro gás) que se encontre na cavidade entre os dois vidros. Para vidros simples (e uma parede de baixa espessura) o valor de transmissividade térmica  $U$  toma valores de  $U \approx (1/8 + 1/18)^{-1} = 5,5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ C$ , enquanto que para um vidro duplo este toma valores de  $U \approx (1/8 + 0,18 + 1/18)^{-1} = 2,8 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ C$ , em que  $0,18 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$  é o valor típico de resistência do ar na cavidade entre os vidros. Pode-se, de certa forma, concluir que as perdas para a envolvente relacionadas com as janelas do edifício seriam reduzidas para quase metade.

Para além da diminuição das perdas de calor haveria ainda uma redução dos Ganhos Solares,  $Q_s$ , na estação de arrefecimento, já que o fator solar do vidro,  $g_{\perp}$ , tomaria um valor mais baixo. A longo prazo, esta é uma medida que poderá representar uma poupança significativa no consumo de energia elétrica para a climatização do espaço, contribuindo ainda para um maior bem-estar dos ocupantes já que existe uma diminuição significativa na aceitação de ruído proveniente do exterior do edifício.

#### 5.3.2.2. Isolamento do edifício.

Da mesma forma que a utilização de vidros duplos se comporta nas necessidades do edifício, a utilização de isolamento nas suas paredes permitiria obter uma redução bastante significativa das perdas de calor para a envolvente. O isolamento térmico, permite a economia de energia devido ao impedimento, ou diminuição, do fluxo de calor que o atravessa. Existem atualmente, algumas soluções que permitem o revestimento rápido e seguro das paredes, tais como o poliestireno expandido (EPS) ou extrudido (XPS), os poliuretanos (PUR), as lãs minerais (MW) e os derivados de cortiça expandida (ICB) (LNEC, 2006). Apesar de todos estes materiais serem isolantes térmicos, apresentam algumas características distintas que influenciam a sua forma de aplicação e comportamento. Para além dos seus diferentes valores de condutividades térmica,  $\lambda$ , alguns destes materiais, nomeadamente as lãs minerais e os poliestirenos, apresentam resistência ao fogo, o que poderá ser em alguns casos um fator decisivo na escolha do material isolante.

Dado que não existe qualquer exposição a atividades potenciadoras de incêndio, foi estudada a aplicabilidade e viabilidade da utilização de uma cobertura externa de isolamento em placa de EPS, essencialmente por se tratar da solução de menor custo, e em placa de XPS, pelas suas excelentes propriedades térmicas (Quadro I.1 do ITE 50). Segundo o Quadro I.1 do ITE 50, um isolamento térmico de EPS em placas tem uma condutividade térmica,  $\lambda$ , que pode rondar os  $0,040 \text{ W/m} \cdot ^\circ C$ , enquanto que um de XPS rondará os cerca de  $0,037 \text{ W/m} \cdot ^\circ C$ . Significando isto que através da instalação de uma placa isolante com 50 mm de espessura, poderá haver um

acréscimo à resistência térmica,  $R$ , das paredes do edifício de cerca de 1,25 e 1,35  $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ , para um isolamento em EPS e XPS, respetivamente. Este aumento da resistência das paredes diminuiria significativamente o coeficiente de transmissividade térmica total,  $U$ , das paredes do espaço e consequentemente o fluxo de calor que atravessa as mesmas, Equação (15).

#### 5.3.2.3. *Proteção solar exterior.*

A utilização de proteções exteriores, em vez dos habituais estores de lâminas interiores, poderá contribuir para uma enorme redução dos ganhos solares na estação de arrefecimento, reduzindo consequentemente as suas necessidades de climatização. No Quadro V.4 do Anexo V do RCCTE estão referidos alguns dos fatores solares,  $g_{\perp}$ , de vãos com proteção solar ativada a 100%, e é possível concluir-se que a utilização de uma persiana regulável com réguas de madeira de cor média poderia reduzir este fator para cerca de 0,08 (considerando-se a utilização de vidro simples), um valor bastante mais baixo que o assumido, de 0,7 para a proteção atualmente existente.

#### 5.3.2.4. *Renovação de material informático.*

Verificou-se que o material informático utilizado atualmente nas instalações se encontra bastante desatualizado, representando um maior gasto de energia elétrica na fração. Esta alteração seria não só vantajosa em termos das reduções já referidas mas também na melhoria das condições de trabalho.

Foi ainda referido, durante a visita técnica, que muitas vezes o trabalho realizado nos computadores é perdido quando o sistema de energia do edifício vai a baixo por excesso de carga. A utilização de computadores portáteis poderia resolver grande parte desse problema, pelo que é sugerida uma substituição de equipamento informático, pelo menos numa parte do edifício.

### 5.3.3. **Criação de um Programa Comportamental**

A criação de um programa comportamental requer um planeamento bastante exaustivo para que se evitem alguns erros comuns que podem desvirtuar inadvertidamente a sua finalidade. O guia prático fornecido pela IEE (Intelligent Energy, 2009) fornece vários conselhos sobre a criação adequada de um programa comportamental, que será analisado neste documento como via de proposta, à empresa, da criação de um programa comportamental, e como demonstração dos seus principais benefícios. É necessário referir que cabe à empresa tomar uma decisão face à criação de um programa que tenha em conta os seus objetivos/política energética.

#### 5.3.3.1. *Metas e Objetivos.*

Para que se atinja um determinado objetivo é necessário que se estabeleçam os comportamentos e contextos chave que se pretendem implementar. Neste primeiro passo para a criação de um programa devem ser feitas, pelo menos, duas considerações relevantes, a alterabilidade do comportamento e a escolha do público-alvo. O programa *BEHAVE* (Intelligent Energy, 2009) indica, pelos vários estudos realizados, que se deve optar por começar pela tentativa de alteração do comportamento mais simples e que se prevê virem a ter um maior impacto no consumo energético da organização. É, por isso, necessário determinar a alterabilidade desses comportamentos. Após a determinação da medida chave, deve ser imediatamente escolhido o grupo alvo.

#### 5.3.3.2. *Fatores que influenciam o comportamento.*

Da mesma forma, é necessário identificar os fatores que influenciam de forma eficaz as alterações do comportamento do grupo alvo, e estes devem ser determinados pela sua análise e

pelo seu contexto. Segundo o estudo realizado existem três tipos de fatores que influenciam o comportamento: os fatores motivacionais (que funcionam como guias do comportamento e que passam pela sensibilização, conhecimento, influência social, atitude e intenção); os fatores de permissão (que permitem a execução dos novos comportamentos, passam pelo financiamento externo ou pelos recursos técnicos, organizacionais e judiciais. Alguns exemplos destes fatores são os subsídios e a disponibilidade de produtos nas lojas); e os fatores de reforço (que são no fundo as consequências dos atos, e que fornecem aos indivíduos o retorno, positivo ou negativo, do impacto do seu novo comportamento continuado. Este retorno de informação deve incluir os impactos do comportamento antigo, por exemplo a conta de energia, bem como conselhos e os resultados obtidos por outros indivíduos).

#### 5.3.3.3. *Escolha dos instrumentos.*

Devem ser escolhidos os instrumentos cujas características sejam as mais adequadas aos fatores que influenciam o comportamento do grupo alvo. Existem, segundo o estudo publicado, quatro tipos de instrumentos: (1) os regulatórios, na forma de proibições e requerimentos (emitidos pelos corpos políticos ou administrativos); (2) os económicos, que afetam os custos e benefícios das escolhas tomadas pelos indivíduos (por exemplo impostos e multas); (3) os comunicativos, que são utilizados para a transmissão de conhecimento, ou para persuadir, convencer e/ou encorajar o público alvo ao comportamento desejado; (4) e os infraestruturais, que passam por alterações de infraestruturas e por novas soluções técnicas.

#### 5.3.3.4. *Implementação da intervenção.*

Deve ser preparada uma lista de materiais e de pessoal necessário para a intervenção bem como um orçamento para materiais, produção e implementação do mesmo. É necessário conhecer quem precisa de estar envolvido, o que é necessário fazer, quando e como vai ser implementado, quanto custa e como será avaliado.

#### 5.3.3.5. *Monitorização e avaliação do processo.*

Existe a necessidade de verificação do sucesso da implementação do programa bem como dos resultados que este proporciona. Essa verificação deve incluir uma reunião da informação relacionada com a performance do programa pela monitorização das ações. Como tal, é necessário definir e estabelecer indicadores que permitam quantificar os resultados. A escolha destes indicadores permite que estes possam depois ser monitorizados para se determinar se o programa está ou não de acordo com os resultados esperados e impostos no seu início. Esta avaliação de impacto permite descrever e comparar os resultados entre o antes e o depois. Os resultados devem incluir a poupança de energia, as alterações de comportamento, alterações nos fatores que alteram o comportamento e do aumento do nível de conhecimento do grupo alvo.

### 5.3.4. **Implementação das Medidas**

É necessário referir que grande parte das medidas propostas nesta secção necessita da realização de algumas obras para a sua implementação, já que são na sua grande maioria intervenções infraestruturais. Nesse caso, estas medidas devem apenas ser consideradas caso se pretendam realizar outras alterações à estrutura do edifício, ou caso seja aceite uma grande parte das mesmas, uma vez que este tipo de alterações poderá perturbar o funcionamento normal da empresa.

A direção da Provida tornou claro que não prevê quaisquer paragens de produção ou perturbações do seu ciclo normal de trabalhos, pelo que a aceitação das medidas sugeridas e, posteriormente, a sua implementação estarão dependentes deste fator.



## 6. Resultados e Discussão

Serão apresentados, neste capítulo, os impactos estimados que as medidas propostas ao longo do estudo realizado poderão ter no consumo de energia elétrica do edifício da Provida. Serão da mesma forma apresentados os retornos esperados, bem como o tempo de *Payback*, esperado, de cada medida e os seus impactos adicionais, indiretos, na empresa. No caso específico do estudo de instalação de coletores PV será feita uma análise e comparação dos diferentes tipos de sistemas estudados, onde se pretende evidenciar qual o tipo de sistema que será mais vantajoso, tendo em conta o paradigma atual da microgeração, e quais as suas razões.

### 6.1. Quantificação da Poupança Monetária

De forma a quantificar a poupança, cada kWh de energia poupado pelas MRCE referidas será considerado com um valor igual ao seu valor de compra ao fornecedor de energia. Como a faturação de energia é feita em três períodos distintos, Tabela 4.7, foi feita uma média ponderada que permitisse determinar uma tarifa média de poupança diária, não deixando de ter em conta o consumo de energia elétrica da empresa em cada um desses períodos. O horário de faturação em vazio considerado, na Tabela 6.1, engloba os períodos de super vazio e vazio uma vez que estes não se encontram discriminados, em separado, na fatura fornecida pela Provida. O período de tempo referido mantém-se constante durante as horas legais de Inverno e de Verão (ERSE, 2014).

Tabela 6.1 - Horário de faturação em vazio (ERSE, 2012).

Faturação	
Consumo medido em vazio (kWh)	00h-07h

Para a quantificação da poupança de cada uma das medidas implementadas será apenas considerado o consumo referente ao consumo medido em ponta e em cheias uma vez que será considerado um funcionamento dos sistemas e equipamentos de apenas de onze horas diárias, correspondentes ao período laboral da empresa entre as oito e as dezanove horas.

Tabela 6.2 - Tarifa de poupança média em período laboral. (Fonte: EDP)

Eletricidade	Quantidade (kWh)	Ponderação (%)	Tarifa (€/kWh)	Tarifa média (€/kWh)
Consumo medido em vazio	959	0%	0,0822	0,1819
Consumo medido em ponta	1457	27%	0,2858	
Consumo medido em cheias	3958	73%	0,1437	

Como se pode verificar pela Tabela 6.2 foi ignorada a ponderação da tarifa do período referente ao consumo medido em vazio. E foi, nesse caso, dada uma maior ponderação a cada um dos dois restantes períodos, tendo em conta o uso de energia registado nos mesmos. Foi de seguida calculada a média ponderada da tarifa pela ponderação de consumo em cada um dos períodos, e calculada uma tarifa média de compra de energia de cerca de 18,2 cêntimos por kWh durante o horário laboral, apresentada na Tabela 6.2. É necessário referir que os dados de quantidade de energia consumida apresentados são correspondentes à leitura do contador realizada pela EDP em 2013, antes das alterações da iluminação. No entanto como o consumo de energia elétrica relacionada com a iluminação deverá ser constante ao longo do ano, comportando-se como uma *baseload*, é possível afirmar-se que a percentagem de consumo de energia em cada período se manterá constante após a implementação das MRCE.

## 6.2. Período de Retorno Simples do Investimento

De forma a determinar a viabilidade económica de algumas das medidas de eficiência energética é necessário determinar o seu tempo de *Payback*<sup>1</sup>. O tempo de *Payback* do sistema é dado pela divisão do custo total do investimento, englobando o custo de todos os seus componentes e de instalação do mesmo, pelo retorno anual do sistema. O cálculo deste valor é decisivo para a escolha dos sistemas, uma vez que este traduz o número de anos, ou meses, que serão necessários para compensar o seu investimento inicial. Este cálculo será realizado, neste documento, segundo o "método de cálculo do período de retorno para medidas de eficiência energética" apresentado no Anexo XIII do Decreto-Lei 79/2006, a 4 de Abril, em que é adotado o cálculo do parâmetro «período de retorno simples» (PRS), Equação (19).

$$PRS = \frac{C_a}{P_1} \quad (19)$$

A variável " $C_a$ " corresponde ao custo inicial de investimento estimado com base na melhor informação orçamental e técnica ao dispor do projetista em €, e " $P_1$ " à poupança anual estimada da aplicação da alternativa mais eficiente em €/ano, resultante das simulações anuais, detalhadas ou simplificadas, do funcionamento do edifício e dos seus sistemas energéticos. Este parâmetro não considera, no entanto, os efeitos da inflação ou custos financeiros (ex.: juros) dado a incerteza da sua previsão. Segundo o Decreto-Lei referido, quando se trata da existência de várias soluções energeticamente mais eficientes que possam vir a ser implementadas, a sua análise poderá ser feita pela aplicação deste modelo de forma a identificar a solução de instalação mais vantajosa. Este modelo poderá ainda demonstrar que uma determinada medida não tem viabilidade económica. Do ponto de vista da empresa, que suportará os custos da operação, este será o fator preponderante da decisão, uma vez que valores de PRS muito elevados correspondem a um elevado período de recuperação do investimento inicial.

## 6.3. Instalação de Iluminação Eficiente

### 6.3.1. Poupança Económica Prevista

Apesar do erro assumido é possível verificar um impacto bastante satisfatório com a implementação da MRCE proposta, sendo esperado uma poupança no consumo de energia elétrica anual que poderá variar entre os 12,3 e os 16,4 MWh, que representaram, pela aplicação da tarifa média de compra de energia à rede (Tabela 6.2), uma poupança anual que pode variar entre os 2.227 € e os 2.966 € por ano, como se pode verificar na Tabela 6.3.

Tabela 6.3 - Custo de utilização e poupança anual prevista.

	Metodologia I	Metodologia II (11 h)	Metodologia III (9 h)
Consumo anual (MWh)	25,9	9,5	13,6
Custo (€)	4.702,14	1.736,68	2.475,53
Poupança (€)	-	2.965,46	2.226,61

<sup>1</sup> O *Payback* corresponde ao tempo de retorno do sistema, i.e., ao tempo necessário para cobrir a totalidade do seu custo através da sua utilização.



É necessário referir que os valores de custo e poupança apresentados na Tabela 6.3 podem diferir um pouco dos obtidos pela aplicação direta da Equação (2) à tarifa média de compra de energia em €/MWh e ao consumo anual do sistema de iluminação em MWh, no entanto esta pequena divergência deve-se ao arredondamento do consumo anual de Wh para MWh.

### **6.3.2. Conclusões do Estudo de Iluminação**

Para além do impacto direto na fatura de eletricidade, relacionado à diminuição do consumo, esta medida permitiu que possam ser realizadas medições da potência em uso nas instalações da Provida para que se emita um parecer acerca da possibilidade de redução da potência contratada ao distribuidor de última instância, que atualmente se situa nos 27,6 kVA. Esta redução poderá estar na ordem dos 5,3 kVA, tendo em conta as medições efetuadas no local, e calculada pela diferença entre o valor medido antes, Tabela 4.11, e depois das alterações, Tabela 4.13.

Pelos cálculos apresentados na Tabela 6.3 conclui-se que a poupança anual obtida varia consoante a utilização do sistema de iluminação, ou seja, quanto mais elevado for o consumo de energia elétrica associada à iluminação do espaço maior será a poupança de energia obtida pela empresa, tal como seria de se esperar. É possível concluir ainda que a substituição das armaduras existentes na zona do armazém, que se encontravam bastante degradadas, permitiu que se obtivesse uma maior eficácia energética deste sistema, aumentando a luminosidade do espaço, e contribuindo para uma melhor qualidade de iluminação.

## **6.4. Estudo de Instalação Solar Fotovoltaica**

### **6.4.1. Poupança Energética Anual Esperada**

Considerar-se-á neste capítulo que toda a energia produzida pelo sistema PV corresponde à poupança de energia que se conseguiria obter pela sua implementação. Através das simulações realizadas no PVSyst e, posteriormente, pela obtenção do relatório final das características do sistema foi possível quantificar a quantidade de energia que se esperará poupar com a (futura) utilização de cada um dos tipos de sistemas estudados no capítulo 5.1.

Como forma de simplificação, e uma vez que não existe a possibilidade de fazer o teste para um sistema de autoconsumo no *software* utilizado, considerar-se-á que a produção anual de energia do sistema de autoconsumo é idêntica à do sistema *On-Grid* de venda de energia à rede. Esta é uma aproximação válida na medida em que a constituição física dos dois tipos de sistemas é bastante semelhante. Em anexo neste documento, encontra-se o relatório final de simulação referente ao sistema *On-Grid*, no Anexo III. Neste relatório está presente uma estimativa da energia anual produzida pelo sistema,  $E_{produzida}$ , em kWh/ano e que será assumida, daqui para diante, como a base de cálculo da poupança esperada com a implementação desta medida de eficiência energética<sup>2</sup>, apresentada na Tabela 6.4.

---

<sup>2</sup> A utilização de um sistema PV para a produção de energia elétrica é considerada uma medida de eficiência energética na medida em que se baixará o consumo de energia proveniente da rede, utilizando-se, neste caso, energia proveniente de uma fonte renovável, i.e., energia "verde". A sua produção poderá no entanto variar de ano para ano, pelo que a previsão apresentada será considerada a de um ano típico.

Tabela 6.4 - Produção energética anual do sistema PV.

			P <sub>pico</sub> [kW]	E <sub>produzida</sub> [kWh/ano]
Sistema	(1.) <i>On-Grid</i>	(i) bonificado	3,92	6.056
		(ii) geral	3,92	6.056
	(2.) Autoconsumo		3,92	6.056

Como se pode verificar espera-se obter uma poupança de energia anual, através da instalação de um sistema PV, que pode rondar os 6,1 MWh. A produção de um sistema PV é bastante variável ao longo do ano, o que significa que ao dimensionar o sistema para o pior mês se está a garantir que a *baseline* imposta é alimentada pelo sistema PV nesse período. No entanto, o sistema estará sobredimensionado para os restantes meses do ano, o que explica a elevada produção apresentada na Tabela 6.4. O valor apresentado tem ainda em conta as perdas do sistema. Estas perdas estão relacionadas com o seu *Performance Ratio*. É possível verificar pelo relatório emitido pelo PVSyst (Anexo III) que o sistema *On-Grid* tem um *Performance Ratio* de cerca de 63,6%, que representa, de certa forma, um decréscimo significativo na sua produção de energia anual.

#### 6.4.2. Custo do Sistema

Foi feita uma estimativa, para cada um dos sistemas apresentados na secção 5.1 deste capítulo, de quais seriam os principais custos de instalação do sistema PV. Os valores que serão apresentados de seguida têm por base o catálogo de preços disponibilizado à BlastingFM, sendo que, no entanto, para alguns dos componentes dos sistemas serão apresentados preços de componentes homólogos, mas que à partida não deverão variar muito do seu valor real. Foram, então, considerados preços unitários para cada um dos componentes do sistema (Tabela 6.5).

Tabela 6.5 - Preço unitário das componentes do sistema PV.

Coletores (€/uni)	Inversor (€/uni.)	Baterias (€/uni.)	Regulador (€/uni.)	Quadro Elétrico (€/uni.)	Cabo (€/100m)	Estrutura (€/7.uni)
215	1177	422	100	300	120	285

Foi, da mesma forma, sumariado o número de unidades necessárias de cada um dos componentes e para cada um dos três diferentes tipos de sistema considerados, apresentado na tabela seguinte. De notar que os sistemas (i) bonificado e (ii) geral fazem ambos parte do sistema *On-Grid* de venda de energia, apresentado na Secção 5.1.5.

Tabela 6.6 - Sumarização das unidades de cada componente dos sistemas PV.

			Coletores	Inversor	Quadro Elétrico	Estrutura
Sistema	(1.) <i>On-Grid</i>	(i) bonificado	16	1	2	3
		(ii) geral	16	1	2	3
	(2.) Autoconsumo		16	1	2	3

Além dos custos relacionados aos componentes dos sistemas existem ainda alguns custos indexados à sua instalação, tais como taxas de inscrição, cabos de ligação do sistema, estruturas e o custo de instalação. Tendo em conta o valor médio destes custos, apresentados na Tabela 6.7, foi feita uma previsão do custo total, em €, de cada um dos sistemas propostos, Tabela 6.8.

Tabela 6.7 - Previsão de custos de material e instalação.

			Coletores	Inversor	Quadro	Inscrição	Instalação	Cabo	Estrutura
Sistema	(1.) <i>On-Grid</i>	(i) bonificado	3.440 €	1.177 €	600 €	500 €	1.200 €	120 €	855 €
		(ii) geral	3.440 €	1.177 €	600 €	n.a.	1.200 €	120 €	855 €
	(2.) Autoconsumo		3.440 €	1.640 €	600 €	n.a.	2.000 €	120 €	855 €

Tabela 6.8 - Previsão do custo total do sistema PV.

			Custo Total do Sistema
Sistema	(1.) <i>On-Grid</i>	(i) bonificado	7.892 €
		(ii) geral	7.392 €
	(2.) Autoconsumo		8.663 €

Como se pode verificar pelos valores apresentados, na Tabela 6.8, esperam-se custos totais de compra e instalação do sistema PV que podem variar entre os 7.892 €, para o sistema *On-Grid* ligado à RESP e os 8.663 €, para o caso do sistema *On-grid* de autoconsumo – que tal como seria de se prever terá um inversor mais caro (explicado na Secção 6.4.5) e um custo de instalação mais elevado devido à sua maior complexidade.

### 6.4.3. Retorno Monetário Anual e a Quinze Anos

Para o cálculo do retorno anual esperado, em €, de cada um dos sistemas estudados multiplicou-se o valor de energia anual produzida pelo sistema, apresentado na Tabela 6.4, pela tarifa média de compra de energia para o período laboral, na Tabela 6.2. Foram obtidos desta forma os seguintes retornos, anuais e quinzenais, para cada um dos sistemas apresentados na Tabela 6.9.

Tabela 6.9 - Retorno anual e quinzenal esperado.

			Retorno [€/ano]	[€/15anos]
Sistema	(1.) <i>On-Grid</i>	(i) bonificado	Variável	9.822,83 €
		(ii) geral	1.101,80 €	16.526,93 €
	(2.) Autoconsumo		1.101,80 €	16.526,93 €

Foi necessário, no entanto, para quantificar o retorno anual do sistema (1.) *On-grid* com tarifa (i) bonificada, definir uma tarifa média de venda de energia à rede uma vez que esta assume valores diferentes ao longo de dois períodos distintos, de sete e oito anos, como foi referido na Secção 5.1.5.1 e é apresentado na Tabela 6.10.

Tabela 6.10 - Tarifa média aplicada ao sistema de tarifa bonificada.

		7 Anos [€/kWh]	8 Anos [€/kWh]	Tarifa media [€/kWh]	Retorno [€/ano]
(1.) <i>On-Grid</i>	(i) bonificado	0,066	0,145	0,11	654,86

Foi então calculada uma tarifa média para o período de quinze anos de contracto, tendo sido atribuída uma ponderação de 7/15 anos à tarifa de 0,066€ e a restante à tarifa de 0,145 €/kWh. Desta forma foi possível calcular uma tarifa média de venda de energia à RESP, de 0,11 €/kWh, e obter o retorno anual do investimento, que rondaria os 654,86 €/ano, Tabela 6.10.

#### 6.4.4. Período de Retorno Simples do Investimento

Através da Equação (19) foram calculados os diferentes valores de PRS correspondentes a cada um dos sistemas PV estudados, tendo sido obtidos os seguintes valores apresentados na Tabela 6.11 para cada um destes.

Tabela 6.11 - Payback esperado do investimento

			PayBack do investimento [anos]
Sistema	(1.) <i>On-Grid</i>	(i) bonificado	12,1
		(ii) geral	6,7
	(2.) Autoconsumo		7,9

Foram obtidos valores de tempo de *Payback* que podem variar entre os doze anos e dois meses para o sistema *On-Grid* com tarifa bonificada, os seis anos e dez meses para a tarifa geral, e os sete anos e onze meses para o sistema *On-Grid* de autoconsumo.

#### 6.4.5. Conclusões do Estudo PV

É necessário referir que a tarifa aplicada no cálculo do retorno do sistema *On-Grid* em regime geral (ii) não é a que realmente seria aplicada no caso da compra de energia por parte da rede. Como foi visto, na Secção 5.1.5.2, existe uma fórmula que define a remuneração deste regime, que faria com que o preço de venda de energia elétrica à RESP se reduzisse. Seria ainda necessário contabilizar a percentagem de 23% de IVA que seria retirada na transação feita pela venda de energia. Tendo em conta essa redução da tarifa de venda, seria espectável que o tempo de *Payback* desta vertente de sistema aumente, ultrapassando certamente o tempo de retorno calculado para o sistema *On-Grid* de autoconsumo.

Conclui-se, pelos resultados obtidos neste estudo, que a melhor solução de produção de energia elétrica PV será através da instalação de um sistema de autoconsumo. Essencialmente devido ao tempo de *Payback* estimado do sistema, de cerca de oito anos, e devido à não necessidade de negociação de tarifas de venda de energia com a RESP, que tornam o retorno do investimento bastante imprevisível. Quanto às peculiaridades deste sistema, será necessária a instalação de um inversor que permita a gestão adequada da energia, recorrendo, quando necessário, à energia da rede para colmatar as necessidades de consumo que não é satisfeito pelo sistema PV. Existe, por isso, a necessidade de compra de um inversor que garanta estas características ao sistema, o que o torna um pouco mais dispendioso que nos restantes sistemas. O custo do inversor poderá ter um acréscimo de 40% (valor utilizado no estudo, Tabela 6.7) face ao custo apresentado para os outros sistemas *On-Grid*, segundo alguns fornecedores. O que representaria, face à produção do sistema em questão, um aumento do tempo de *Payback* em cerca de cinco meses, e uma outra parte atribuída ao custo da instalação do mesmo. A solução mais económica, neste caso, seria a utilização de um inversor, também da marca SMA, com o modelo *Sunny Tripower STP 5000TL-20*, que aufere uma potência nominal de 5 kW, ou um modelo equivalente.

Espera-se com a instalação deste sistema uma poupança de energia elétrica de cerca de 6,1 MWh por ano, correspondente a uma poupança anual de cerca de 46% face ao consumo previsto para o período após a implementação da MRCE relacionado com a iluminação (Metodologia III), e a uma poupança de cerca de 24% face ao consumo anual inicial previsto para o ano de 2013, antes da MRCE (Metodologia I).

## 6.5. Climatização do Edifício

### 6.5.1. Custo do Sistema

Foi feita uma estimativa do custo do sistema de climatização pela análise da ficha técnica (apresentado no Anexo V) do modelo de ar-condicionado referido, da marca Zantia, e tendo em conta as unidades necessárias para suprimir as necessidades de aquecimento e arrefecimento, Tabela 5.32.

Tabela 6.12 - Custo total do sistema de climatização.

	Montana Plus R 27/4 (4x9)	Outros Custos <sup>3</sup>
Preço (€/uni.)	2.277,84	+25%
Unidades <sup>4</sup>	2	Não aplicável
Custo (€)	4.555,68 €	911,14 €
Custo Total (€)	5.694,60 €	

### 6.5.2. Custo de Operação & Manutenção

O custo de operação deste sistema varia ao longo do ano, dado que o seu funcionamento está dependente da estação do ano, variando em função da amplitude das necessidades de aquecimento ou de arrefecimento. Dada a variabilidade do número de horas que funcionará o sistema, como forma de determinar as necessidades, serão calculadas os valores limite de aquecimento ( $N_i$ ) e arrefecimento ( $N_v$ ) segundo o método publicado no Artigo 15º do Capítulo V do RCCTE. (Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, 2006)

Assumindo-se um valor de 1430 graus dias para o local em que se situa o edifício da Provida (referido no Capítulo 5.2.6) é possível determinar pela Equação (21), e conhecendo-se o fator de forma (FF) da fração, o valor limite  $N_i$  que será assumido como a necessidade máxima de aquecimento do espaço. Segundo o Anexo I do RCCTE o cálculo do FF é realizado segundo a Equação (20), em que a variável " $A_{ext}$ " corresponde ao somatório das áreas da envolvente exterior, " $A_{int}$ " à área envolvente interior com exigências térmicas e " $V_{int}$ " ao volume interior do espaço.

$$FF = \frac{A_{ext} + \sum (\tau \cdot A_{int})}{V_{int}} \quad (20)$$

Tendo em conta os valores apresentados na Tabela 5.11 considerar-se-á um valor de  $A_{int}$  igual a  $A_{ext}$ , de 210 m<sup>2</sup>, correspondentes às duas paredes frontais e às duas paredes laterais, bem como um volume de 750 m<sup>3</sup>, correspondente à multiplicação da área do pavimento pelo pé medio da fração. Assumindo um  $\tau$  igual 0,95 (calculado na Secção 5.2.2) e pela aplicação da Equação (20), obtêm-se um valor de FF de cerca de 0,55.

<sup>3</sup> Custos associados às restantes componentes do sistema de climatização (filtros, cablagem, suportes, etc.) e à instalação do sistema. O incremento de 25% ao custo do sistema em si é o valor típico assumido na realização de uma proposta de instalação de um sistema deste tipo.

<sup>4</sup> Cada unidade *Montana Plus R 27/4 (4x9)* inclui uma unidade exterior 27/4 e quatro unidades interiores R 9.

Pelo ponto 1 do artigo 15º do Capítulo V do RCCTE, o cálculo do valor de  $N_i$  é dado em função do valor calculado de  $FF$ . Será nesse caso, e tendo em conta o valor obtido anteriormente, utilizada a Equação (21) para o cálculo de  $N_i$ . De onde se obtém uma necessidade de aquecimento limite de cerca de 63,4 kWh/m<sup>2</sup>.ano.

$$N_i = 4,5 + (0,021 + 0,037 \times FF) \times GD \quad (21)$$

Da mesma forma, e segundo os valores tabelados no ponto 2 do artigo 15º do Capítulo V do RCCTE, e tendo em conta que o edifício se encontra na zona de verão  $V_1$  Sul, se determina que as necessidades de arrefecimento limite da fração,  $N_v$ , serão de 22,0 kWh/m<sup>2</sup>.ano.

Calculando o produto necessidades limite anuais pela área de pavimento útil do espaço (assumida no Capítulo 5.2.8), obtêm-se as seguintes necessidades anuais de aquecimento e arrefecimento, em quilowatt-hora calorífico (kWh<sub>c</sub>), apresentadas na Tabela 6.13.

Tabela 6.13 - Necessidades de aquecimento e arrefecimento anuais.

Necessidades limite de aquecimento, $N_i$ (kWh <sub>c</sub> /ano)	12.683
Necessidades limite de arrefecimento, $N_v$ (kWh <sub>c</sub> /ano)	4.400

Dado que se conhecem as eficiências de aquecimento (COP) e arrefecimento (EER) do sistema de climatização, calculou-se o consumo previsto do sistema proposto, em quilowatt-hora elétrico (kWh<sub>e</sub>), para as condições limite, apresentado Tabela 6.14. Aplicando a tarifa média de compra de energia à RESP, Tabela 6.2, é possível prever o custo de operação deste sistema para as condições limite  $N_i$  e  $N_v$ , Tabela 6.15.

Tabela 6.14 - Consumo de energia elétrica anual em condições limite.

	Aquecimento	Arrefecimento
Eficiência (COP/EER)	3,6	3,2
Necessidades (kWh <sub>c</sub> /ano)	12.683	4.400
Consumo (kWh <sub>e</sub> /ano)	3.523	1.375

Tabela 6.15 - Custo de operação anual em condições limite.

	Aquecimento	Arrefecimento
Tarifa média (€/kWh <sub>e</sub> )	0,1819	
Custo (€/ano)	641	250
Custo Total (€/ano)	891	

Apesar do valor do custo anual de operação do sistema atual ser desconhecido, é possível concluir que o COP e o ERR do sistema utilizado ou a sua eficiência de conversão, são fatores bastante importantes e a ter em conta quando se pretende instalar e utilizar um sistema de climatização. Estes valores são indicadores das unidades de energia elétrica necessárias para produzir uma unidade de energia térmica (calorífica).

Para além dos custos de operação é necessário ter em conta os custos da manutenção anual do sistema, essencialmente relacionados com a limpeza dos filtros, a verificação do equipamento, e com realização de ensaios. Segundo a Energy.Gov a substituição de um filtro sujo por um limpo pode reduzir o consumo do sistema de AC entre 5 até 15% (U.S. Department of Energy, 2014). Prevê-se que este custo não ultrapasse, no entanto, os cerca de 250 a 300 € anuais.

### 6.5.3. Poupança Anual

A poupança obtida pela alteração do sistema de climatização do espaço para o sistema proposto é de certa forma intangível, na medida em que este estará dependente das necessidades de climatização anuais e não ser possível determinar qual será o gasto energético do sistema de climatização atual.

Uma forma simples de comparação seria calcular e comparar os consumos do sistema proposto com o de um sistema constituído apenas por radiadores elétricos (que suprimem atualmente uma parte do consumo da fração de escritórios). Assumindo uma eficiência de conversão de energia elétrica para energia térmica dos radiadores em 100%, valor máximo (dado que estes não funcionam por ciclos como um sistema de ar-condicionado), seria necessário consumir 1 kWh<sub>e</sub> para produzir 1 kWh<sub>c</sub>. Nesse caso, para suprimir as necessidades limite anuais de climatização calculadas, Tabela 6.14, seria necessário consumir uma quantidade de energia cerca de 3,5 ( $\approx$  COP) vezes superior à do sistema proposto, o que elevaria o custo de operação do sistema de cerca de 891 €/anuais para cerca de 3100 €/anuais, uma diferença bastante significativa.

Para além do custo associado à operação do sistema composto por radiadores elétricos existiria ainda o problema da elevada utilização de potência no edifício, que no caso do sistema referido seria bastante superior (cerca de 3,5 vezes) ao do sistema proposto, que se prevê de cerca de 4 kW<sub>e</sub><sup>5</sup> em condições aquecimento.

### 6.5.4. Conclusões do Estudo de Climatização

A instalação de um sistema de climatização novo passa não só pela tentativa de diminuir o consumo de energia elétrica para a climatização do espaço, mas também pelo aumento do conforto térmico dos ocupantes, que se demonstrou insuficiente durante a análise prévia às instalações. Com a sua instalação prevê-se ainda um aumento significativo da eficiência e eficácia de climatização, garantindo um menor gasto energético bem como uma melhor aplicação do sistema no espaço.

De facto, a utilização de um sistema de climatização com bomba de calor (BC) reversível seria uma alternativa mais sustentável, uma vez que a energia solar pode ser utilizada como fonte primária de energia ou em combinação com outras fontes (ASHRAE, 2008). No entanto, a instalação deste tipo de sistema é bastante mais complexa que a do sistema de AC proposto, o que não respeita as exigências feitas pela empresa auditada. Como foi referido, não se prevê um sessar de funções para a realização de obras muito avultadas no edifício estudado, e como tal qualquer obra no período de funcionamento da empresa deve ser evitada ao máximo.

O sistema proposto apresenta uma relação custo/benefício bastante aceitável e com claros benefícios para as condições de trabalho. Será certamente necessário a realização de obras durante a instalação do sistema, que no entanto se preveem menos intrusivas que no caso da instalação de outros sistemas (com iguais eficiências energéticas). É necessário referir que a substituição do equipamento de AC existente no edifício deverá ser feita apenas quando esta se tornar mais económica que a sua eventual reparação. Deve ser tido em conta na realização desse cálculo, tanto o custo como as eficiências (COP e ERR) de operação de ambos os sistemas.

---

<sup>5</sup> Tendo em conta as necessidades de aquecimento calculadas de 14,5 kW e o COP do sistema de 3,6.

## 6.6. Medidas Adicionais

As diferentes medidas propostas para a zona de armazém, escritórios e receção incidem essencialmente no aumento da eficácia energética dos diferentes sistemas consumidores de energia elétrica do edifício, mais concretamente no sistema de iluminação e de climatização do espaço. O aumento da eficácia energética do sistema de climatização é obtida pela redução das perdas de calor para a envolvente através do isolamento de paredes, e pela redução dos ganhos internos (sensíveis) do espaço, sejam estes provocados pelo equipamento eletrónico existente ou pela incidência solar no espaço. A medida proposta para o aumento da eficácia do sistema de iluminação do armazém está relacionada com a diminuição das perdas provocadas pela distância do foco de luz à área de trabalho (Fig. 4.2).

Todas as medidas propostas nesta secção são intangíveis, isto é, não são mensuráveis devido à grande variabilidade das condições que as afetam. Por exemplo, a utilização de sensores de iluminação (proposto na Secção 5.3.1) permitirá uma poupança de energia elétrica utilizada para iluminação do espaço, no entanto não é possível determinar a sua magnitude, essencialmente porque esta estará diretamente relacionada a fenómenos climatéricos, como por exemplo a passagem de nuvens.

### 6.6.1. Armazém, Escritórios e Receção

Ainda assim, para algumas medidas, e como é o caso das que estão diretamente relacionadas ao sistema de climatização do edifício, é possível calcular o seu impacto direto nas necessidades de climatização do espaço, já que estas afetam diretamente as perdas de calor para a envolvente bem como os ganhos de calor internos. Como foi verificado no estudo realizado para determinar as necessidades de climatização da fração de escritórios do edifício, as perdas de calor para a envolvente, Tabela 5.12, representam cerca de 87% das necessidades de climatização totais do espaço, Tabela 5.28.

#### 6.6.1.1. Diminuição das necessidades de climatização.

Consideraram-se os coeficientes de transmissividade térmica,  $U$ , para o vidro duplo (assumidos na Secção 5.3.2.1) apresentados na Tabela 6.16 para as janelas laterais internas, e restantes janelas da fração de escritórios.

Tabela 6.16 - Transmissividade térmica do vidro duplo. (Chadderton, 2004)

	Transmissividade Térmica, $U$ ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )
Janelas laterais internas <sup>6</sup>	1,85
Restantes janelas	2,80

Da mesma forma, e aplicando a Equação (16), consideram-se os valores de resistência térmica,  $R$ , apresentados na Tabela 5.17 e referentes à instalação de uma placa isolante de EPS e XPS com 50 mm de espessura nas paredes do edifício de cerca de 1,25 e 1,35  $m^2 \cdot ^\circ C/W$ , respetivamente.

<sup>6</sup> No caso das janelas internas será considerado um valor de transmissividade térmica de 66% do valor assumido para as restantes janelas devido ao facto de serem consideradas duas resistências superficiais térmicas internas ( $R_{si}$ ).



Tabela 6.17 - Resistência térmica do isolamento exterior.

	$\lambda$ (W/m.°C)	Largura (m)	R (m².°C/W)
XPS	0,04	0,05	1,35
EPS	0,04	0,05	1,25

O coeficiente de transmissividade térmica, U, considerado para os restantes cálculos foi o da camada de isolamento XPS, uma vez que esta apresenta uma maior resistência ao fluxo de calor (ou seja, é mais isolante). Pela aplicação da Equação (15) obtiveram-se os seguintes valores de U para os diferentes elementos da fronteira do sistema, Tabela 6.18.

Tabela 6.18 - Coeficiente de transmissividade térmica do isolamento exterior.

	Rsi (m².°C/W)	Rse (m².°C/W)	Rj (m².°C/W)	U (W/m².°C)
Parede lateral interna	0,13	0,13	1,62	0,53
Parede lateral	0,13	0,04		0,56
Paredes frontais	0,13	0,04		0,56

Esta redução bastante significativa do coeficiente U das paredes e dos vidros da fração permitiu reduzir bastante o valor das perdas de calor para a envolvente do espaço,  $Q_t$ . Aplicando de novo as Equações (13) e (14) para as paredes e janelas da fração, verificou-se que seria de prever uma redução de cerca de 29% das perdas de calor para a envolvente, Tabela 6.19, em comparação com perdas de calor calculadas para o estado atual do edifício, que se situam na estação de aquecimento em cerca de 15,8 kW, Tabela 5.12.

Tabela 6.19 - Perda para a envolvente com as alterações.

	Perda para a envolvente, $Q_t$ (W)	
	Aquecimento	Arrefecimento
Parede lateral interna	499,5	-306,4
Parede lateral	552,2	-338,7
Paredes frontais	225,9	-138,5
Cobertura	4687,5	-2875,0
Pavimento	4453,1	-2731,3
Janelas laterais internas	237,0	-48,5
Restantes janelas	630,0	-386,4
Total	11285,2	-6824,7

A aplicação do dispositivo de sombreamento exterior ativado a 100%, referido na Secção 5.3.2.3, reduziria bastante o fator solar,  $g_{\perp}$ , e os ganhos internos solares da fração seriam praticamente nulos devido à orientação (a Norte) do edifício. Prever-se-á uma redução clara, de cerca de 400 W, das necessidades de arrefecimento do espaço, Tabela 6.20.

Tabela 6.20 – Ganhos solares internos com proteção exterior.

Ganhos solares, $Q_s$		
Fachada	$Q_s$ (W)	$Q_s$ , total (W)
N	10	50
W	30	
S	10	

Assumindo como constantes os restantes ganhos do sistema (sensíveis e latentes), e aplicando novamente a Equação (11) para o cálculo das necessidades totais de climatização da fração de escritórios,  $N_c$ , seria de se esperar uma redução bastante significativa face às necessidades calculadas anteriormente (para a área total da fração, com 250 m<sup>2</sup>), Tabela 6.21.

Tabela 6.21 - Necessidades de climatização totais antes e após as alterações.

Antes, $N_c$		Após, $N_c$	
Aquecimento	Arrefecimento	Aquecimento	Arrefecimento
18,1 kW	-14,7 kW	13,6 kW	-11,4 kW
72,5 W/m <sup>2</sup>	-58,8 W/m <sup>2</sup>	54,3 W/m <sup>2</sup>	-45,7 W/m <sup>2</sup>

Aplicando as novas necessidades de calor do espaço por metro quadrado de pavimento à área útil da fração de escritórios, com cerca de 200 m<sup>2</sup>, tal como calculado no Capítulo 5.2.8., prevê-se uma redução que rondará os cerca de 3,6 kW<sub>c</sub> para aquecimento e cerca de 2,9 kW<sub>c</sub> para arrefecimento do espaço, Tabela 6.22.

Tabela 6.22 - Necessidades de climatização sem e com as alterações.

	Antes $N_{c,util}$	Após $N_{c,util}$
Aquecimento (kW <sub>c</sub> )	14,5	10,9
Arrefecimento (kW <sub>c</sub> )	-11,8	-9,1

Uma diminuição com estas proporções, num sistema como o proposto neste documento (com um COP de 3,6 e um ERR de 3,2), corresponderia a uma poupança que poderá variar entre os 0,9 kW<sub>e</sub> para arrefecimento e 1 kW<sub>e</sub> para aquecimento por cada hora de funcionamento do sistema de climatização e para as condições de temperatura e humidade assumidas no dimensionamento, Tabela 5.7.

### 6.6.2. Programa comportamental

Algumas alterações de comportamento podem passar pelo simples desligar da iluminação ou do material informático ao sair de uma sala. Os benefícios alcançados pela alteração desse tipo de comportamentos deve ser medida e mostrada ao grupo alvo com intuito motivacional. O exemplo de uma excelente medida motivacional poderá ser o sorteio de um prémio monetário mensal, correspondente a uma determinada percentagem da poupança alcançada face ao mês anterior. Segundo (Intelligent Energy, 2009) a criatividade do programa beneficiá-lo-á face a outros programas generalistas já existentes e demonstra uma maior preocupação, por parte da direção da empresa, extra monetária e face às questões ambientais.

A criação de um programa comportamental na empresa não deverá ser visto como uma intrusão no espaço de trabalho ou como uma medida que beneficia apenas a direção da empresa (pela redução da fatura energética), caso contrário não será suficientemente motivante para alterar o comportamento de um determinado grupo alvo.

### 6.6.3. Conclusão do Estudo de Medidas Adicionais

Segundo (Intelligent Energy, 2009) a mudança de comportamentos relacionados com a energia constituem um potencial de poupança que poderá atingir os cerca de 19% ( $\pm 5\%$ ), pelo que esta não deve ser ignorada mas, se possível, exaustivamente estudada e aplicada. É muito importante medir os consumos dos diferentes espaços do edifício e das diferentes aplicações neste existente para que se possa criar um programa comportamental adequado aos gastos energéticos da empresa. Aproveitar o potencial de poupança ao máximo, sem realizar qualquer

tipo de investimento deve ser o primeiro passo para diminuir os gastos energéticos da empresa. A gestão dos consumos por parte dos trabalhadores tem um papel preponderante na melhoria da eficiência energética da empresa, esta gestão acaba por se sobrepor ao investimento tecnológico essencialmente pelo seu tempo de *payback* nulo.

Para além destas medidas deve ser explorada a viabilidade de pequenas alterações nas condições que afetem sistemas ineficientes, que possam aumentar a sua eficácia de aplicação e consequentemente a sua eficiência energética sem a necessidade de um grande investimento.



## 7. Conclusões

As barreiras financeiras existentes para atingir a eficiência energética têm que ser minimizadas o mais rapidamente possível, tanto no setor privado como no setor público. A União Europeia tem acelerado os processos, legislativos e financeiros, que asseguram o cumprimento das metas de energia e clima existentes para o ano de 2020, no entanto este não deve nem pode ser o único incentivo no que toca à aplicação de medidas de eficiência energética. As instituições devem, por si só, desbloquear a ideia negativa que possa estar relacionada a um investimento deste tipo e pensar a longo prazo, podendo focar-se no retorno que a implementação das medidas de eficiência energética, associadas à eficácia dos sistemas, lhes trará.

O seguimento da metodologia sugerida pela Norma Europeia de Eficiência Energética, EN ISO 50001, baseada numa metodologia PDCA, permitiu realizar uma avaliação energética da empresa e estabelecer um plano de ação para produzir resultados, permitindo que se implementasse um plano de ação de gestão de energia., nomeadamente, relacionado com a iluminação do espaço. A monitorização dos resultados permitiu ainda que se determinasse o impacto final da MRCE implementada e por fim que fossem sugeridas outras MRCE que visam o melhoramento continuo do desempenho energético da empresa auditada.

Atualmente, e como foi referenciado neste documento (na Secção 2.5) não existe nenhuma obrigação quanto à certificação desta Norma e a Provida, tal como muitas outras empresas em Portugal, não se encontra certificada na mesma. No entanto, e tendo em conta a importância demonstrada (e evidenciada neste documento) pela Comissão Europeia no que diz respeito à eficiência energética existe uma forte possibilidade de virem a ser estabelecidas obrigações quanto às necessidades de certificação para a transação de bens e/ou serviços. Como tal, pretendeu-se com este projeto auditar e preparar a empresa para uma eventual iniciação ao processo de certificação na Norma Europeia que visa o assunto. As vantagens da pré-preparação de certificação são diversas, possibilitando a manutenção de clientes já certificados, e/ou a obtenção de novos clientes a nível internacional e nacional, o que permitiria expandir e garantir uma maior visibilidade da empresa. E foi nesse sentido que foi feita uma proposta com base técnica e científica para a realização deste estudo de viabilidade técnica e económica de uma serie de medidas, tendo como objetivo primário atingir um aumento de eficiência energética.

Durante o estudo realizado verificou-se uma certa resistência em relação à utilização de iluminação LED, essencialmente relativa ao seu custo e à sua fiabilidade. No entanto, foi demonstrado, segundo a literatura, que esta melhorou bastante nos últimos anos, essencialmente no que diz respeito ao seu tempo de vida útil, que poderá atingir agora entre as cinquenta e as setenta mil horas. Ficou ainda provado, pelos resultados medidos e observados, que o investimento em novas tecnologias de iluminação poderá beneficiar em grande escala a diminuição do consumo de energia elétrica num edifício destinado à indústria, onde a utilização de sistemas de iluminação é bastante frequente, e em particular no caso da Provida. Prevê-se que a substituição da iluminação, estudada no Capítulo 4, proporcionou uma redução de consumo de energia elétrica que poderá rondar os cerca de 47%, gerando uma poupança anual à empresa de cerca de 2.200 € com um retorno do investimento inferior a dois anos.

Destaca-se ainda que deverá existir, por parte do sector da indústria, uma maior sensibilização face às questões ambientais. A aposta nas energias renováveis é hoje, mais do que nunca, uma opção segura na redução das emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, relacionadas com o consumo intensivo de energia, e consequentemente na redução da fatura energética das empresas do sector. Para além das vantagens referidas existe ainda uma grande vantagem competitiva face às empresas concorrente, criada essencialmente pela imagem de maior sustentabilidade ambiental, social e económica, que a instalação de um sistema de produção de energia elétrica renovável garante.

O estudo realizado provou que a instalação de um sistema PV deverá ser de todo o interesse da empresa, bem como de todas as empresas em geral. A revisão de literatura e legislativa, feita em relação ao tema, demonstrou que a grande adequabilidade do período de produção solar com o período de funcionamento fabril garante uma enorme vantagem competitiva na instalação de um sistema de autoconsumo face à instalação de um sistema de venda de energia à rede, essencialmente relacionada com as baixas tarifas de venda de energia à rede elétrica nacional de ambos os regimes existentes, bonificado e geral. Prevê-se que a instalação de um sistema de autoconsumo destinado à supressão de uma *baseline* de consumo, neste caso relacionada à iluminação do edifício da Provida, permita uma redução de cerca de 24% do consumo de energia elétrica da empresa face ao valor previsto pela Metodologia I para o ano de 2013, e que representa uma poupança de cerca de 45% face ao valor de consumo anual previsto pela Metodologia III (de 13,6 MWh), garantindo um retorno anual de cerca de 1.100 € e um tempo retorno do investimento inicial que poderá rondar os cerca de oito anos.

A auditoria energética à empresa revelou ainda uma enorme falta de eficácia e eficiência energética do sistema de climatização existente, relacionada essencialmente com questões estruturais do edifício, nomeadamente com o isolamento térmico das paredes e vidros. As perdas de calor para a envolvente do edifício revelaram ser a principal fonte da ineficácia do sistema de climatização, representando cerca de 87% das necessidades totais de aquecimento do espaço. E como tal, foram estudadas algumas alterações que poderão atenuar o problema, pela aplicação de isolamento exterior e substituição de vidros simples para duplos, prevendo-se que estas permitam uma redução de cerca de 29% das necessidades totais de climatização do espaço.

É portanto aconselhável que antes de qualquer alteração tecnológica do sistema de climatização se apliquem as medidas propostas no edifício, que permitirão um aumento de eficácia e consequentemente de eficiência energética no mesmo. O investimento inicial num novo sistema de climatização foi previsto em cerca de 5.700 € com um custo de operação e manutenção anual que poderá rondar os 1.150 €. No entanto, e em comparação com um espaço idêntico cujas necessidades sejam suprimidas por radiadores elétricos (o que é em parte uma realidade no edifício), estas alterações poderão representar uma poupança anual de operação do sistema de cerca de 2000 €, reduzindo bastante o tempo de *payback* do sistema proposto.

A importância das medições dos consumos deverá ser tida em conta na aplicação de qualquer medida que tenha impacto na eficiência energética do edifício, só assim será possível determinar a eficácia das medidas aplicadas bem como garantir a motivação dos seus intervenientes. A instalação de contadores inteligentes é uma medida que se baseia no alargamento da telegestão e telecontagem dos consumos finais de energia, e que visa o controlo e a potencial diminuição dos consumos e custos relacionados à utilização de energia, potenciando assim a eficiência energética e a sustentabilidade ambiental. Com estas ferramentas pode ser feita uma análise detalhada dos consumos, conduzindo a uma efetiva alteração comportamental no que diz respeito à eficiência energética. A importância da telecontagem foi verificada na medida em que teria sido possível verificar, na presente auditoria, o impacto real que algumas das medidas implementadas trouxeram ao consumo energético da empresa, permitindo assim ajudar a perceber, de forma detalhada, qual será o seu tempo real de retorno. Citando o guia prático realizado pela IEE, *BEHAVE*, "*Measuring in knowing*".

Concluindo, foram apresentadas MRCE que poderão garantir uma diminuição do consumo de energia elétrica da empresa, face ao previsto para o ano de 2013, de cerca de 72%. Sendo que destes, 48% já se encontram implementados, através do aumento de eficiência energética da iluminação do espaço, e os restantes 24% relacionados com a instalação de um sistema de produção solar PV. Para além do potencial de poupança referido poderá existir, ainda, um acréscimo intangível relacionado à aplicação das medidas adicionais propostas, e que visam o aumento da eficácia e eficiência do sistema de climatização utilizado na empresa. A criação de um programa de efeito comportamental poderá ainda ter algum impacto no consumo de energia da empresa, cujo âmbito poderá ser alargado ao domicílio dos demais trabalhadores, sendo este fomentado pelo aumento da sensibilização face às questões ambientais.

Para além da gestão do consumo de energia, o investimento tecnológico tem um papel bastante importante no que diz respeito ao desenvolvimento das empresas, e o sector da indústria não é exceção. A eficiência energética está a aumentar no panorama nacional, no entanto a poupança energética que daí resulta está a ser utilizada noutras necessidades. É por isso fundamental que se perceba que a eficiência energética por si só não responde a todas as questões relacionadas com o consumo exaustivo de energia, e a principal diferença entre eficiência e eficácia reside na gestão adequada dos recursos, que acaba por se sobrepor a qualquer investimento tecnológico.

Existe uma infinidade de medidas de eficiência energética que podem ser aplicadas num edifício de indústria. Atingir uma maior eficiência energética em conjugação com uma maior gestão das necessidades do edifício permite que se atinjam menores consumos de energia e consequentemente uma poupança bastante significativa na fatura da eletricidade. Ficou provado, pela realização da presente auditoria energética, que existe um enorme potencial de poupança nos edifícios de indústria, que não deve ser ignorada. O papel do Estado na criação de leis e de apoios ao aumento de eficiência energética é bastante importante. É necessário dar o exemplo e permitir que as empresas mantenham, ou mesmo que aumentem, o seu nível de competitividade apostando em medidas de aumento de eficiência energética. A aposta nas energias renováveis tem hoje um papel importantíssimo na gestão dos recursos, nomeadamente na produção e consumo de energia elétrica. As organizações individualmente não conseguem controlar as políticas energéticas ou o preço da energia, no entanto podem melhorar a forma como gerem o seu consumo de energia. Deve partir destas a vontade de alterar comportamentos e gerir os seus consumos, o que por si só lhes trará benefícios claros, como ficou comprovado. As organizações estarão ainda assim a contribuir de forma positiva para a preservação dos recursos energéticos e para mitigar os efeitos mundiais do uso excessivo de energia, tal como é o caso do aquecimento global provocado pelas emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera.





## 8. Referências Bibliográficas

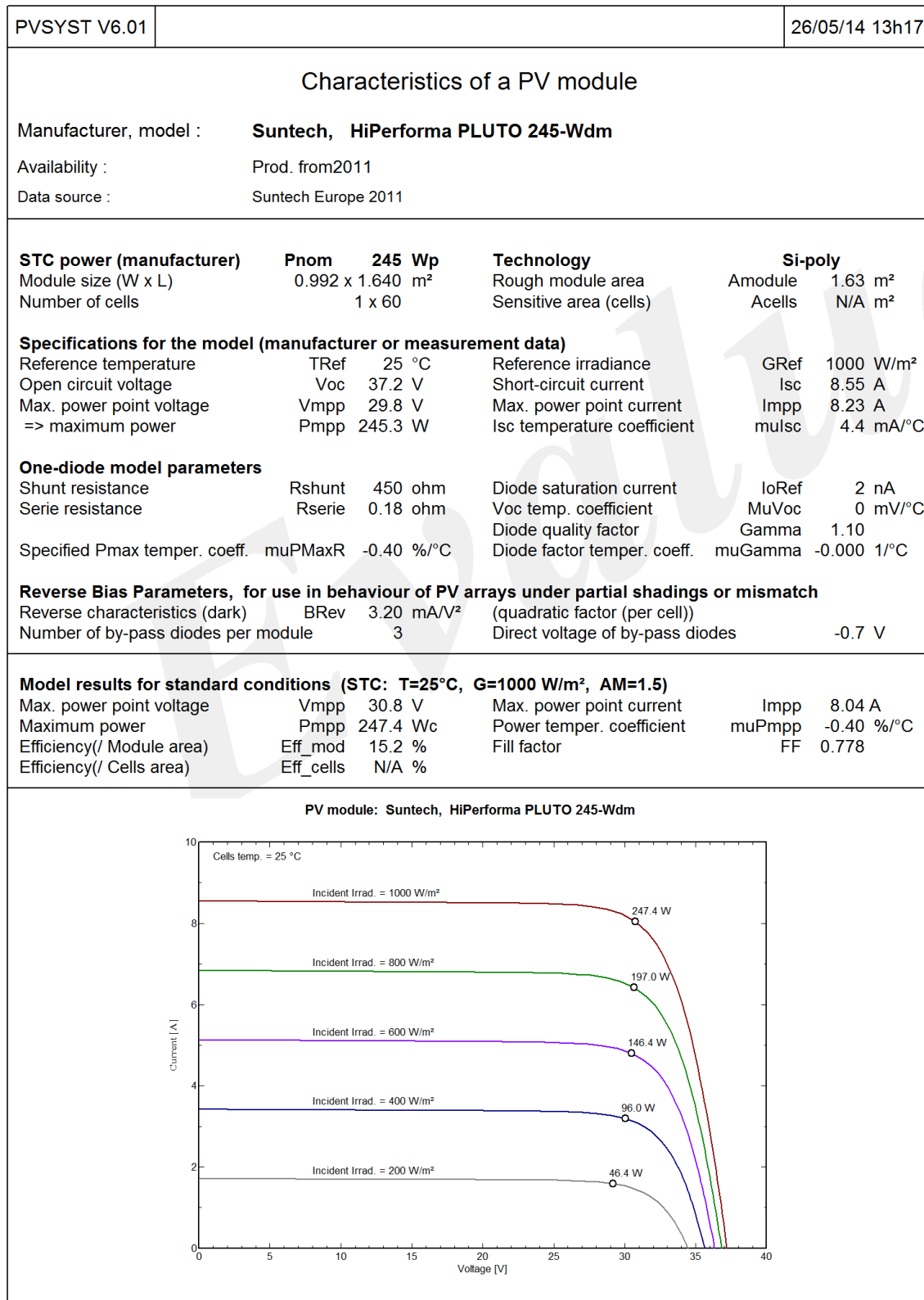
- ADENE. (2014). *ADENE - Agência para a energia*. Obtido de <http://www.adene.pt/planos-e-programas>
- APA. (2014). *Associação Portuguesa do Ambiente*. Obtido de Ambiente Portugal: <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=17&subref=295>
- APESF. (14 de Janeiro de 2014). Comunicado da APESF. *Reunião com a DGEG*. Lisboa.
- ASHRAE. (2005). *2005 ASHRAE Book of Fundamentals*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc.
- ASHRAE. (2008). *2008 ASHRAE Handbook HVAC Systems and Equipment*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- ASHRAE. (2009). *2009 ASHRAE Handbook Fundamentals*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- Bessho, M., & Shimizu, K. (2012). Latest Trends in LED Lighting. *Electronics and Communications in Japan*, Vol. 95, No. 1, 2012.
- Çengel, Y. A. (2007). *Heat and Mass Transfer: A Practical Approach*.
- Chadderton, D. V. (2004). *Building Services Engineering*. Londres: Spon Press.
- Chang, M.-H., Das, D., Varde, P., & Michael, P. (2011). Light emitting diodes reliability review. *Microelectronics Reliability*.
- Conselho de Ministros. (2 de Novembro de 2007). *Decreto-Lei n.º 363/2007*. Diário da República, 1ª série - N.º211.
- Conselho de Ministros n.º20. (2013). PNAEE e PNAER. *Resolução do Conselho de Ministros n.º 20*. Diário da República.
- CUE. (2007). *Conclusões da Presidência - Bruxelas, 8/9 Março de 2007*. Bruxelas: Conselho da União Europeia.
- Davies, M. G. (2004). *Building Heat Transfer*. Liverpool: John Wiley & Sons, Ltd.
- DGEG. (2013). *Annual Report on the monitoring of the progress towards national 2020 energy efficiency target, in accordance with Directive 2012/27/EU*.
- DGEG. (2013). Microprodução. *Despacho DGEG de 26 de Dezembro de 2013*. Lisboa: Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia.
- DGEG. (2013). Miniprodução. *Despacho DGEG de 26 de Dezembro de 2013*. Lisboa: Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia.
- EnergyPlus. (2014). *U.S. Department of Energy*. Obtido de EnergyPlus Energy Simulation Software: [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data3.cfm/region=6\\_europe\\_wmo\\_region\\_6/country=PRT/cname=Portugal](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data3.cfm/region=6_europe_wmo_region_6/country=PRT/cname=Portugal)
- ERSE. (2012). *Annual report to the european commission*. Lisboa: ERSE.

- ERSE. (2014). *Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos*. Obtido de Períodos Horários: <http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/periodoshorarios/Paginas/default.aspx>
- Fraytag, J., da Silva, F. M., Chagas, N. B., do Prado, R. N., IEEE Member, & Costa, M. A. (2010). Lighting Systems Energy Efficiency based on Different Human Visual Conditions. *INDUSCON 2010*.
- IEA. (2013). *World energy outlook 2013 factsheet*. Paris: IEA.
- Incropera, F. P., Bergman, T. L., Lavine, A. S., & Dewitt, D. P. (2007). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. John Wiley & Sons.
- INE. (2007). *Classificação portuguesa das actividades económicas Rev.3*. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística, IP.
- INEGI. (2014). *Energias endógenas de Portugal*. Obtido de Base de dados de fontes renováveis de energia: <http://e2p.inegi.up.pt/index.asp>
- Intelligent Energy, E. (2009). *Changing Energy Behaviour*. Madrid: IDAE.
- IPQ. (2012). *Sistemas de gestão de Energia. Requisitos e linhas de orientação para a sua utilização (ISO 50001:2011)*. Caparica.
- ISO. (2011). *Win the energy challenge with ISO 50001*. Genebra: International Organization of Standardization Central Secretariat.
- LNEC. (2006). Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios. *ITE 50*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Luque, A., & Hegedus, S. (2011). *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, Second Edition*. John Wiley & Sons, Ltd.
- Markvart, T., & Castañer, L. (2003). *Practical Handbook of Photovoltaics Fundamentals and Applications*. Oxford: Elsevier Science Ltd.
- Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. (2006). RCCTE. *Decreto-Lei n.º 80/2006*.
- Petchers, N. (2003). *Combined Heating, Cooling & Power Handbook: Technologies & Applications*. Fairmont Press.
- PVGIS. (2014). *Institute of Energy and Transport (IET)*. Obtido de Photovoltaic Geographical Information System: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
- QREN. (2013). *Contributo das intervenções do QREN em contexto urbano para o aumento de eficiência energética*.
- Renováveis na Hora*. (2014). Obtido de [www.renovaveisnahora.pt](http://www.renovaveisnahora.pt)
- Roisin, B., Deneyer, A., D'Herdt, P., Diga, S.-M., & Eugene, C. (2006). Optimization of Lighting Power Consumption in Offices. *Modern Quality Solutions for an Efficient Lighting*.
- Ronda, C. R. (2008). Emission and Excitation Mechanisms of Phosphors. *Wiley-VCH Verlag & Co. KGaA, Weinheim*.
- SMA Solar Technology. (2012). Sunny Family 2012. *Product Catalog*. Obtido de [www.sma-solar.com](http://www.sma-solar.com)

- Tanaka, K. (2001). Review of policies and measures for energy efficiency in industry sector. *Energy Policy*.
- U.S. Department of Energy. (2009). *Energy Efficiency of White LEDs*.
- U.S. Department of Energy. (2013). *Building Technologies Program*.
- U.S. Department of Energy. (2014). *Energy Gov*. Obtido de Maintaining Your Air Conditioner:  
<http://www.energy.gov/energysaver/articles/maintaining-your-air-conditioner>



## Anexo I





## Anexo II

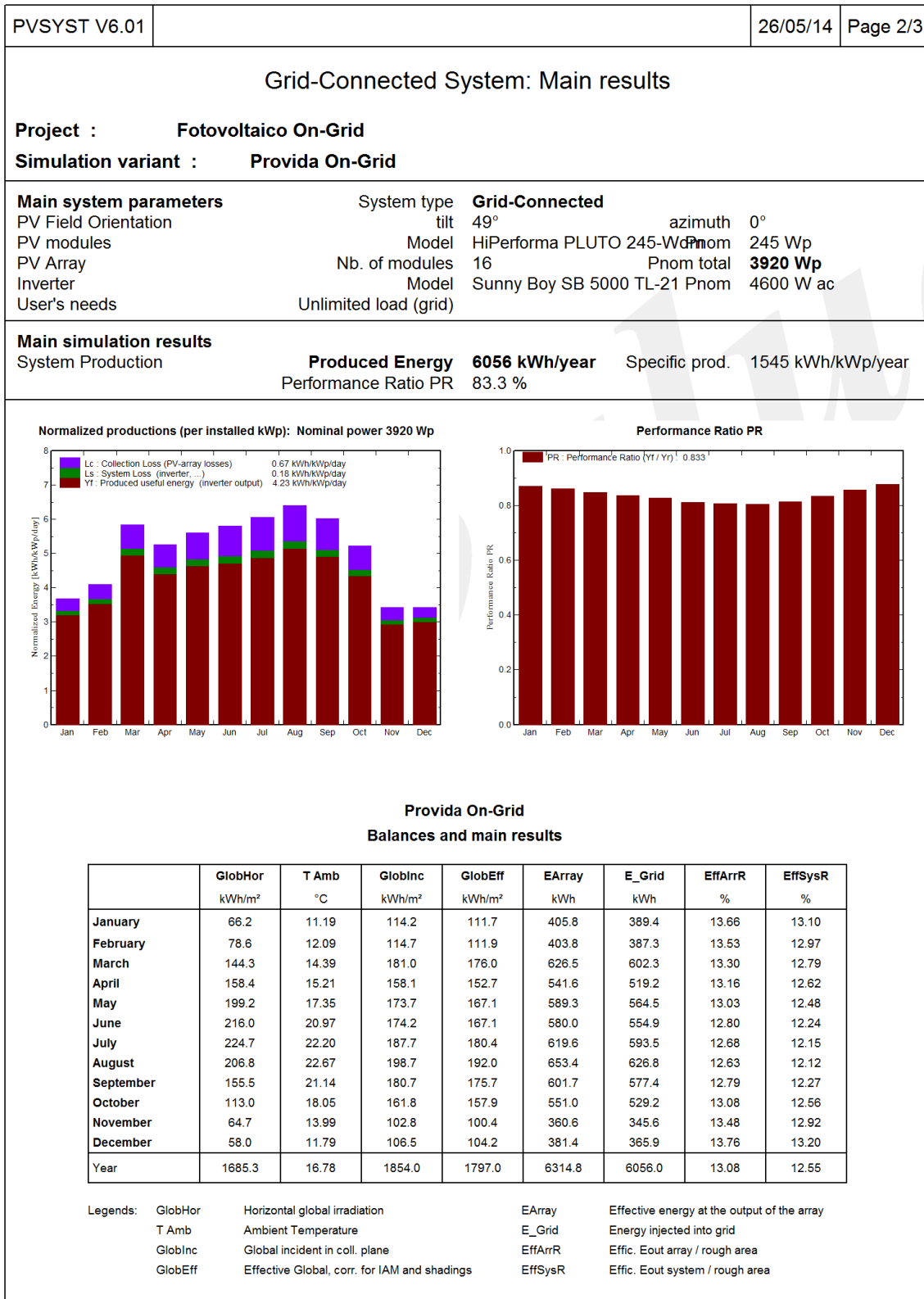
PVSYST V6.01		26/05/14 13h21	
Characteristics of a grid inverter			
Manufacturer, model :		SMA, Sunny Boy SB 5000 TL-21	
Availability :		Prod. from2011	
Data source :		Manufacturer 2010	
Input characteristics (PV array side)			
Operating mode		MPPT	
Minimum MPP Voltage	Vmin	175 V	Nominal PV Power
Maximum MPP Voltage	Vmax	500 V	Maximum PV Power
Absolute max. PV Voltage	Vmax array	750 V	Maximum PV Current
Min. Voltage for PNom	Vmin PNom	175 V	Power Threshold
Multi MPPT capability		Number of MPPT inputs	
Behaviour at Vmin/Vmax		Limitation	
Output characteristics (AC grid side)			
Grid Voltage	Unom	230 V	Nominal AC Power
Grid frequency	Freq	50/60 Hz	Maximum AC Power
	Monophased		Nominal AC current
			Maximum AC current
Efficiency defined for 3 voltages	175 V	400 V	500 V
Maximum efficiency	0.0 %	0.0 %	0.0 %
European average efficiency	0.0 %	0.0 %	0.0 %
Remarks and Technical features		Sizes: Width 490 mm	
Array isolation monitoring, Internal DC switch,		Height 519 mm	
Output Voltage disconnect adjustment, ENS protection,		Depth 185 mm	
Technology: TL transformerless, 16 kHz, IGBT, Multi String		Weight 26.00 kg	
Protection: -25 - +60°C, IP 65: outdoor installation			
Control: Graphic			
Multi String inverter: diode and overvoltage protection included			
Efficiency profile vs Input power			

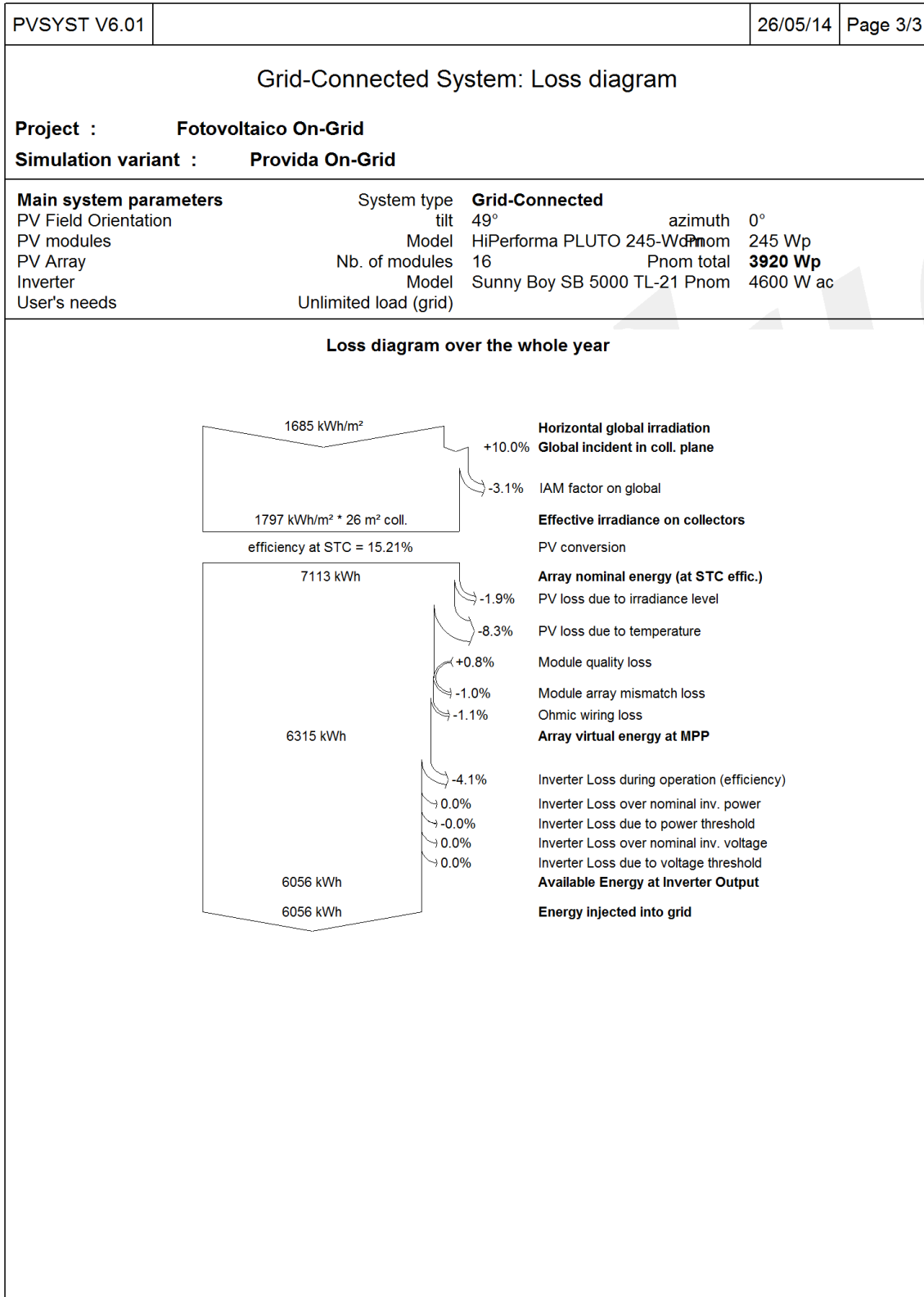




## Anexo III

PVSYST V6.01				26/05/14	Page 1/3
Grid-Connected System: Simulation parameters					
Project :                   Fotovoltaico On-Grid					
Geographical Site		Lisboa		Country	Portugal
Situation		Latitude	38.7°N	Longitude	9.2°W
Time defined as		Legal Time	Time zone UT	Altitude	68 m
		Albedo	0.20		
Meteo data:	Lisboa	Synthetic	Meteonorm 6.1		
Simulation variant :           Provida On-Grid					
			Simulation date	26/05/14 13h52	
Simulation parameters					
Collector Plane Orientation		Tilt	49°	Azimuth	0°
Models used	Transposition	Perez	Diffuse	Measured	
Horizon	Free Horizon				
Near Shadings	No Shadings				
PV Array Characteristics					
PV module	Si-poly	Model	HiPerforma PLUTO 245-Wdm		
		Manufacturer	Suntech		
Number of PV modules		In series	8 modules	In parallel	2 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	16	Unit Nom. Power	245 Wp
Array global power		Nominal (STC)	3920 Wp	At operating cond.	3556 Wp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	221 V	I mpp	16 A
Total area		Module area	26.0 m²		
Inverter					
		Model	Sunny Boy SB 5000 TL-21		
		Manufacturer	SMA		
Characteristics		Operating Voltage	175-500 V	Unit Nom. Power	4.60 kW AC
PV Array loss factors					
Thermal Loss factor		Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind)	0.0 W/m²K / m/s
=> Nominal Oper. Coll. Temp. (G=800 W/m², Tamb=20°C, Wind=1 m/s.)				NOCT	56 °C
Wiring Ohmic Loss		Global array res.	230 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
Module Quality Loss				Loss Fraction	-0.8 %
Module Mismatch Losses				Loss Fraction	1.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization		IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param.	0.05
User defined profile					
User's needs :		Unlimited load (grid)			







## Anexo IV



### Photovoltaic Geographical Information System

European Commission  
Joint Research Centre  
Ispra, Italy

#### Performance of Grid-connected PV

##### PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 38°49'22" North, 9°19'8" West, Elevation: 154 m a.s.l.,  
Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF

Nominal power of the PV system: 1.0 kW (crystalline silicon)  
Estimated losses due to temperature and low irradiance: 10.3% (using local ambient temperature)  
Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.7%  
Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%  
Combined PV system losses: 24.9%

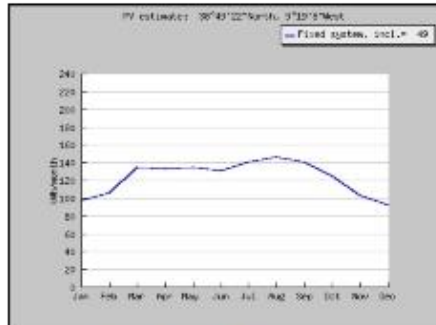
Fixed system: inclination=49 deg., orientation=0 deg.				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	3.12	96.6	3.95	123
Feb	3.76	105	4.83	135
Mar	4.33	134	5.68	176
Apr	4.42	132	5.87	176
May	4.33	134	5.80	180
Jun	4.36	131	5.96	179
Jul	4.53	141	6.26	194
Aug	4.71	146	6.50	202
Sep	4.68	140	6.40	192
Oct	4.02	125	5.36	166
Nov	3.43	103	4.50	135
Dec	2.98	92.3	3.84	119
Year	4.06	123	5.41	165
Total for year		1480		1980

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh)

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh)

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

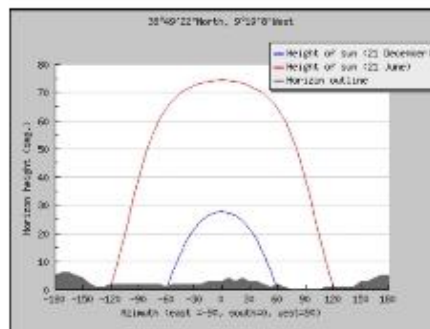
Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)



Monthly energy output from fixed-angle PV system



Monthly in-plane irradiation for fixed angle



Outline of horizon with sun path for winter and summer solstice

PVGIS (c) European Communities, 2001-2012

Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged.  
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

#### Disclaimer:

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. However the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

#### This information is:

- of a general nature only and is not intended to address the specific circumstances of any particular individual or entity;
- not necessarily comprehensive, complete, accurate or up to date;
- not professional or legal advice (if you need specific advice, you should always consult a suitably-qualified professional).

Some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.

## Anexo V

## MULTISPLIT

1

## Multisplit Montana



## Principais Características

- Reinício Automático
- Modo Sleep
- Modo Turbo
- Fluxo Bi-Direccional de Ar
- Alhetas de Alumínio Hidrofílico
- Filtro biológico

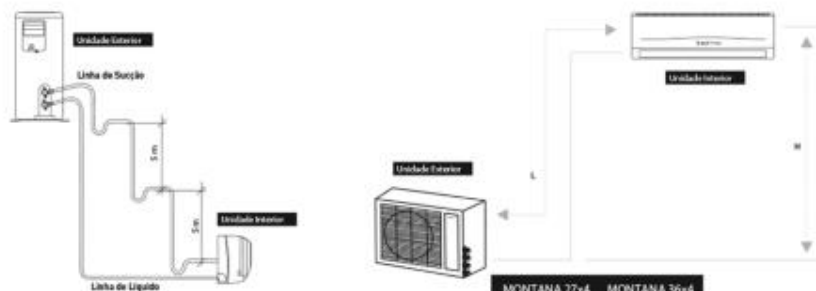


## Descrição do Produto

Unidades elegantes e discretas que combinam perfeitamente com qualquer ambiente. Composta por compressores DC Inverter que permitem uma adaptação contínua e eficaz da potência de saída para as capacidades energéticas. Consumos energéticos 30 a 40% menores do que uma unidade convencional com compressor ON-OFF. O controlo remoto comanda todas as funções do equipamento e o conforto é total com um funcionamento silencioso e com filtro de carvão activo. Gás refrigerante de última geração, R410a, amigo do ambiente. Temperaturas de funcionamento de: -15º a 50ºC; Modo de funcionamento: Frio, Calor, Desumidificação e Ventilador.

## Modelos e Preços

Referência	Modelo	Preço € UN
2501.0264	Ar Condicionado Multisplit Montana Plus 27/4 (3x12) (DC Inverter)	2.218,57€
2501.0265R	Ar Condicionado Multisplit Montana Plus R 27/4 (4x9) (DC Inverter)	2.277,84€
2501.0280R	Ar Condicionado Multisplit Montana Plus R 36/4 (4x9)	2.082,73€
2501.0284	Ar Condicionado Multisplit Montana Plus 36/4 (4x12) (DC Inverter)	2.882,09€



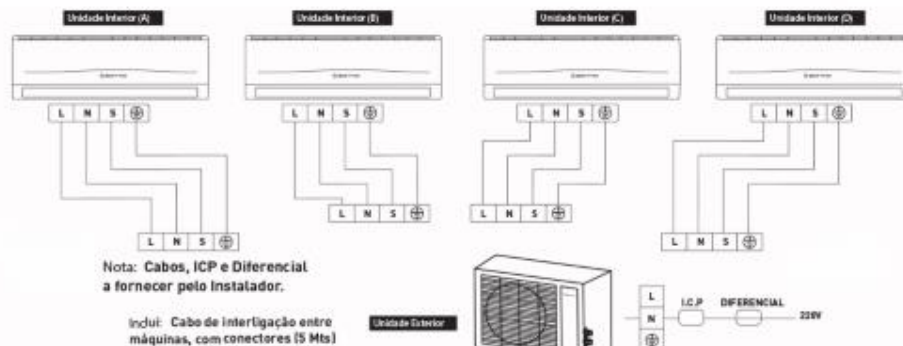
	MONTANA 27x4	MONTANA 36x4
Tipo de fluido frigorígeno	R410a	R410a
Carga inicial de fluido (g)	2400	2700
Carga Adicional de fluido (g/m)	20	20
Comprimento máx. L (m) - Sem carga adicional por UI	5	5
Comprimento máx. L (m) - Com carga adicional por UI	20	20
Desnível máximo H (m)	10	10
Desnível máximo entre UI (m)	8	8
Diâmetro de tubagem U.I 9 (Líquido/Gás) (pol.)	1/4" ; 3/8"	1/4" ; 3/8"
Diâmetro de tubagem U.I 12 (Líquido/Gás) (pol.)	1/4" ; 3/8"	1/4" ; 3/8"
Diâmetro de tubagem U.E (Líquido/Gás) (pol.)	4x (1/4" ; 3/8")	4x (1/4" ; 3/8")



Inspired by Comfort!

## 2

## MULTISPLIT



		MONTANA 27x4	MONTANA 36x4
Alimentação Eléctrica (Ø/V/Hz)		1/230/50	1/230/50
Intensidade Absorvida (A)	Arrefecimento	11,2	15,5
	Aquecimento	11,1	15,2
Pico de Arranque (A)		21	22,5
Cabo de Alimentação Eléctrica (mm²)		362,5	362,5
Cabo de Interligação entre Máquinas (mm²)		462,5	462,5
Interruptor de Controle de Potência ICP (A)		16	16

NOTA: A secção da cablagem eléctrica deverá ser confirmada em obra, e ajustada se necessário, em função da especificidade da instalação. O calibre do ICP (Disjuntor) deverá ser confirmado em obra, e ajustado se necessário, em função da cablagem eléctrica instalada.

DADOS TÉCNICOS			
UNIDADES EXTERIORES		MONTANA 27/4	MONTANA 36/4
Nº de Unidades Interiores Máx.		4	4
Arref. Potência de Saída (Btu/h/kW)		27000/7.91	36000/10.55
Arref. Potência de Entrada (kW)		2.47	3.45
Arref. EER (W/W)		3.20/A	3.06/B
Aquec. Potência de Saída (Btu/h/kW)		30000/8.79	38000/11.14
Aquec. Potência de Entrada (kW)		2.44	3.38
Aquec. COP (W/W)		3.60/A	3.30/C
Compressor Modelo		DC INVERTER	DC INVERTER
Caudal de Ar Exterior (m³/h)		3500	3800
Nível de Ruído Unidade Exterior (dB(A))		57	61
Dimensões L x A x P (mm)		900x860x315	990x966x345
Peso (kg)		73	86
Temp. Ext. Arrefecimento (°C)		0 a 50	0 a 50
Temp. Ext. Aquecimento (°C)		-15 a 24	-15 a 24
UNIDADES INTERIORES		MONTANA R 9	MONTANA 12
Arref. Potência de saída (Btu/h / kW)		9000/2.64	12000/3.52
Aquec. Potência de saída (Btu/h / kW)		1100/3.22	1500/3.81
Caudal de Ar Interior Mín./Med./Máx. (m³/h)		350/480/570	375/520/675
Dimensões LxAxP (mm)		750x250x205	815x280x215
Peso (kg)		8.5	10
Reg. da Temp. Ambiente (°C)		17 a 30	17 a 30
NOTA: DEVIDO À NOSSA POLÍTICA DE INOVAÇÃO ALGUMAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PODERÃO SER ALTERADAS SEM AVISO PRÉVIO. CONSULTE SEMPRE A CHAPA DE CARACTERÍSTICAS DO EQUIPAMENTO.			